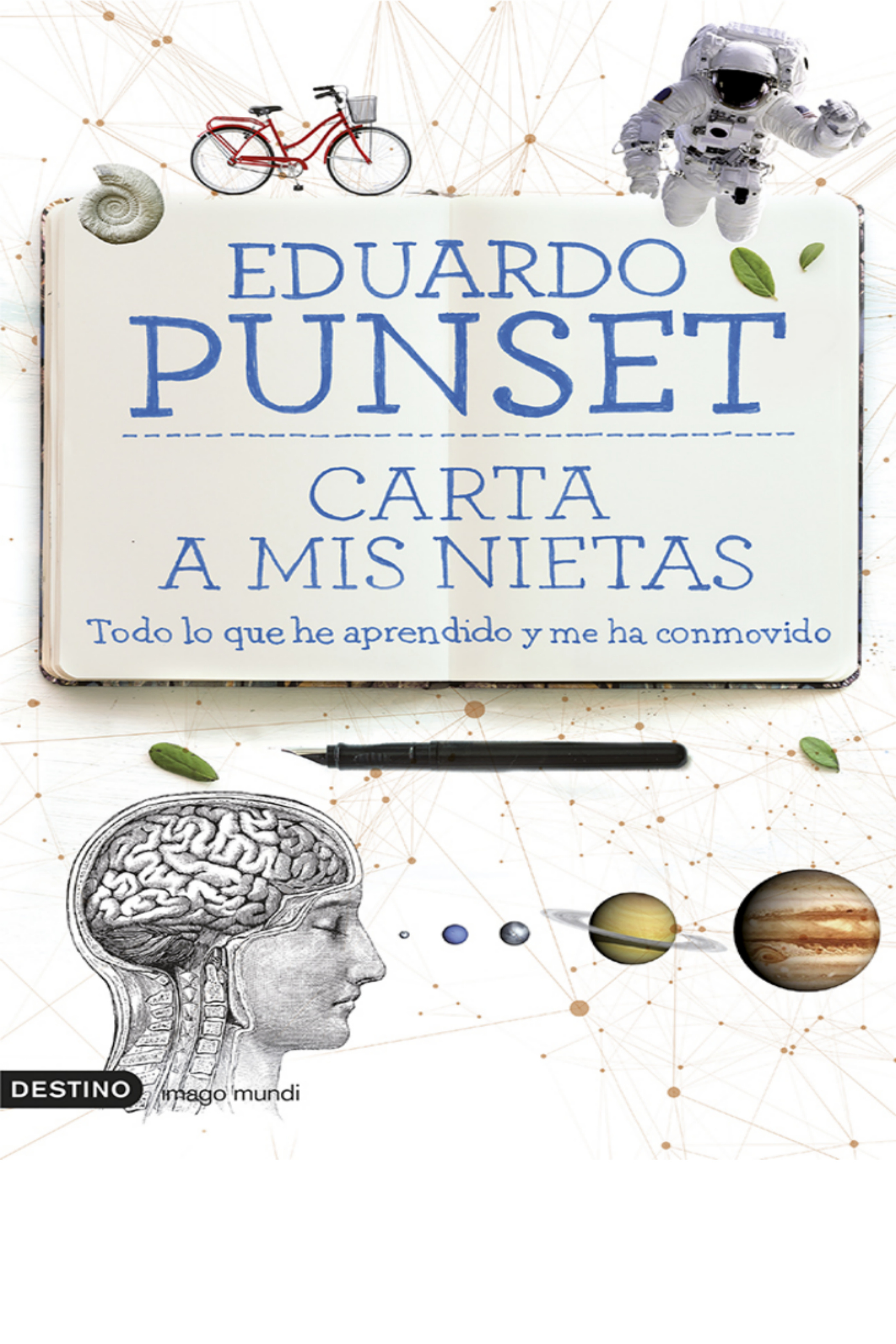

EDUARDO
PUNSET
CARTA
A MIS NIETAS
Todo lo que he aprendido y me ha conmovido
DESTINO
imago mundi

Índice

Te damos las gracias por adquirir este EBOOK

Visita **Planetadelibros.com** y descubre una nueva forma de disfrutar de la lectura

¡Regístrate y accede a contenidos exclusivos!

Próximos lanzamientos
Clubs de lectura con autores
Concursos y promociones
Áreas temáticas
Presentaciones de libros
Noticias destacadas

PlanetadeLibros.com

Comparte tu opinión en la ficha del libro
y en nuestras redes sociales:

Explora Descubre Comparte

A mis estrellas más jóvenes, Candela,
Violeta, Alexia y Tiziana, de parte de su abuelo,
el Quasar

INTRODUCCIÓN
¿DÓNDE Y CÓMO EMPEZÓ TODO?

A mediados de 2015, descubrí algo que hasta entonces ni siquiera podía sospechar: que no sólo mi fecha de nacimiento era distinta a la oficial, sino también parte de mi familia.

En este libro me proponía volver sobre los descubrimientos científicos que más me han impactado, aquello que ha provocado cambios reales en nuestra forma de ver el mundo, en nuestra aspiración a la felicidad... Y de repente, casi a los ochenta años, todo cambiaba en mi propio pasado. Mis orígenes eran distintos de lo que habían creído mis padres y hermanos.

Debo hablar de una familia desdoblada: por una parte, mi abuelo oficial, el agricultor escapado de la guerra de Cuba, que sólo de vez en cuando consigue retener en Granollers a su mujer, Magdalena, *la diosa de la belleza y de la locura*, para cuidar a sus tres hijos: José, Segundo y Juan. Luego llegaron dos hijas más: Catalina y María, mi madre; alguien en la vecina Barcelona aceptaría la paternidad de esas dos hijas tardías.

María, mi madre, vivió convencida de que *la diosa de la belleza y de la locura* había fallecido mientras ella asomaba la cabeza al mundo. Su santo padre guardó el secreto, pero en realidad la apartaron del mundo con algún pretexto que ocultaba otra relación. La única que sabía algo era Catalina, resguardada demasiados años en el internado de las Salesianas; aunque nunca se topó de frente con su auténtico padre y benefactor, sí lo quiso en silencio.

Nunca acepté del todo el sentimiento de reina destronada que embargaba a mi madre, María, con relación a su hermana Catalina. Era más guapa, más joven y se parecía más a su padre misterioso. Pero a María —que había empezado unos años más tarde que su hermana la formación en las Salesianas— le pesaba como un tronco sacado del río el calificativo de *sopera*. *Soperos* se llamaba a los alumnos incorporados a la institución más tarde y pagando mucho menos que los demás, algo que la muerte del padre benefactor había impuesto.

Así pues, no tenían padre ni madre. María estaba convencida de que su madre había fallecido en el parto que la trajo al mundo, junto a una melliza que también murió. Catalina, aunque supo lo que estaba ocurriendo, guardó silencio. Ni Catalina ni María, en cualquier caso, revelaron nunca a sus hijos la identidad de su padre cuando la

descubrieron; tampoco es seguro que ellas mismas fueran conscientes de ello durante muchos años.

La enfermera María Casals Roca, nacida el 3 de diciembre de 1910, y el doctor Eduardo Punset Alegrí, tres años más joven, se casaron en Barcelona poco antes de que estallara la guerra civil española. Asumidos los sinsabores de la contienda, se trasladaron en 1941 a la Vilella Baixa, cerca de Falset, en el Priorat, donde el doctor Punset prodigó sus cuidados médicos, montado en una mula, por los pueblos de La Figuera, La Vilella Alta, La Vilella Baixa, Cabacés y Gratallops.

Ella no tenía, por lo tanto, padre conocido y él no tenía madre, fallecida, ella sí, durante el parto. Ninguno de los dos había heredado nada e iniciaron la lucha por la vida con lo puesto. Empezaron desde cero en un entorno diezmado por la guerra, que no consiguió nunca abatirles ni disminuir su optimismo y ganas de trabajar.

Curiosamente, sí pude detectar los restos de un odio canibalesco en lo poco que había sobrevivido de la guerra civil, y como muestra del antianarquismo visceral de algunos. Joan Llarch recuerda en su obra *La muerte de Durruti* una anécdota reveladora y entrañable: un mendigo se hizo con el grupo que rodeaba a Durruti extendiendo la mano para pedir con la voz truncada una limosna. Era un hombre joven pero con gesto vencido, como corresponde a todo mendigo; el desdichado se quedó de piedra cuando la voz inconfundible de Durruti, después de sacar una pistola, se la tendió diciendo: «¡Vete! ¡Busca un banco y ve a por dinero!». El mendigo salió corriendo. Alguien interpeló al líder anarquista para decirle que su intervención no tenía justificación alguna. «A lo mejor tienes razón, pero es un hombre demasiado joven para ir pidiendo limosna a los demás», fue su respuesta. Nunca comprendí hasta entonces por qué un liberal ateo y reconocido como mi padre, debió esconderse en el zaguán de una terraza del acoso atávico e impredecible de los cuatro anarquistas que no le habían perdonado nunca que su protector más celoso fuera un suboficial militar retirado, marido de Pazita, la madre adoptiva de mi padre, durante su permanencia en el barrio de Sants de Barcelona. En su mente resonaría el eco de la conversación de Durruti increpando al mendigo que se había atrevido a pedir ayuda.

En los tiempos de mi infancia en el pueblo, las tres hijas de una pareja de anarquistas se llamaban Libertad, Ilusión y Primavera. Lo que sus nombres evocaban algunos años después era el cerebro indomable de los llamados *maquis*, atropellados por la guardia civil en las montañas vecinas.

¿Por qué aparece de súbito Catalina en la Vilella Baixa en busca

de sosiego y amor? Fue una decisión fruto del carácter altruista del doctor Punset, pero que no se tomó con el acuerdo total de María. La soledad y la tuberculosis que Catalina sufría sola en Granollers fueron el origen de la invitación para que pasara una temporada en la Vilella Baixa; al poco tiempo de su llegada se casó con un músico y campesino que, por cierto, poseía una de las casas más bellas del pueblo.

La entrada de aquella nueva morada estaba escondida en una calle empedrada, pero la balconada en el lado opuesto daba a un barranco profundo y denso por el que fluía al final el *riu* Petit, afluente unos pocos metros más allá del *riu* Gran, que configuraba el pueblo. Catalina se afincó en aquel rincón del Priorat pocos años antes de que María y Eduardo, mis padres, se marcharan a Vilaseca de Solcina, a unos diez kilómetros de Tarragona, en busca de un centro de enseñanza secundaria para sus hijos.

Entre Vilaseca y Tarragona había entonces una carretera solitaria, que a los nueve años el autor de estos recuerdos recorría todos los días en bicicleta. Eran diez kilómetros de recorrido, que daban tiempo suficiente para ahondar en el significado del tiempo y poco más. Lo mucho que aprendí en el colegio de La Salle fue el fruto, sin embargo, de aquellos diez kilómetros, a menudo fríos y ventosos, perdidos en la mente de las poquísimas personas que pasaban por allí muy de vez en cuando. ¿A quién le podía suscitar una búsqueda neuronal y atrabiliaria aquel recorrido fuera del tiempo y del mundo de los homínidos? Tampoco llamaba entonces la atención La Canonja, una aldea de quinientos habitantes colocada a mitad de camino.

Me he entretenido muchas veces pensando cómo habría reaccionado la diosa-abuela Magdalena con Eduardo, Pedro, José y Alberto, es decir, mis hermanos y yo. En el desorden característico del momento, el registro de mi acta de nacimiento se retrasó hasta el 20 de noviembre de 1936, a pesar de haber nacido once días antes. La verdad es que María y Eduardo no habían podido casarse hasta entonces.

Empecemos por mí mismo, Eduardo. Economista internacional y escritor, residí veinte años en el extranjero y disfruté luego de una gran aventura: durante quince años buceé en el conocimiento científico, leyendo e interrogando a algunos de los hombres más sabios de la Tierra, para contárselo a todo el mundo. Este libro quiere ser el testimonio de lo mejor de todos ellos, de lo que se me antoja más útil para mí, para mis nietas y para todos mis lectores.

El segundo fue Pedro, cuya infancia transcurrió durante más de seis años con los abuelos paternos en Barcelona, que también habían

cobijado y protegido a mi padre en el barrio de Sants. Me acuerdo de la frase: «Ha pasado Don Pedro camino de Suiza y dice que está muy bien». Se trata del tipo de mensajes que recibía el doctor Punset procedentes del aeropuerto del Prat. Pedro se casó con Helga, una alemana tierna y de otro mundo con la que sentó la cabeza durante un tiempo. Tuvo una hija y un hijo, un ingeniero muy brillante, en Suiza. Dedicó varios años de su vida a la sección de presupuestos de la Organización Internacional del Trabajo, primero en Ginebra y después en la delegación en Turín. Allí se casaría tiempo después, pero una irremediable enfermedad degenerativa le conduciría, lenta e inexorablemente, hacia la muerte.

El tercer hijo, José, vivió muy poco, acosado por una insistente fibrilación auricular paroxística diagnosticada en Washington, que acabó con su vida poco después de una operación cardiovascular.

El cuarto y último hijo fue Alberto, que emigró una larga temporada a Santo Domingo, donde se dedicó a la explotación agraria. En la actualidad vive con una maestra catalana a la que le encanta su profesión, y la vela que practica Alberto.

Como se ve, la diáspora nunca ha sido ajena a nuestra familia. Pues todavía hay más: si permitís que me remonte a la generación de mi padre, os contaré que uno de sus dos hermanos se alistó en el ejército francés, donde ejerció de suboficial en la paz y en la guerra. Escribía cartas a sus hermanos desde tierras lejanas como Dien Bien Phu, en Vietnam. A todos se les había inculcado la idea de que tarde o temprano sería mejor emigrar de un país cerrado y totalitario como España.

Pero situémonos a comienzos de la década de los cincuenta. Asomaban la cabeza en las costas españolas los primeros turistas europeos. España estaba iniciando una cierta apertura al exterior, a pesar de la política cerrada, cuando no cerril, de nuestros augustos dirigentes. Los pacientes extranjeros del doctor Punset pagaban los servicios sanitarios recibidos y pedían toda clase de ayuda, desde remedios para las heridas causadas por insolación o para paliar los efectos de unas borracheras de órdago que dejaban boquiabiertos a los indígenas, hasta asistencia por fracturas óseas resultantes de esfuerzos físicos estrafalarios… Incluso asistencia a partos inesperados. Así pudo sufragar su primer aparato de rayos X.

La primera ayuda recibida por los hijos del matrimonio que había salido de la nada —esto es, mis padres— fue cobijar durante unos años a mi hija, su primera nieta, Nadia, llegada de París. El nombre de Elsa —la segunda nieta— fue en recuerdo de Elsa Triolet, la esposa del escritor francés Aragon. La tercera fue Carolina, que nació en

Washington.

En aquella época se empezaba a intuir la posibilidad de que las emociones acabaran incidiendo sobre el futuro personal y empresarial. Faltaba poco para que se llegara a pronunciar la frase: «Con esta cara de pocos amigos vas a llevar a tu empresa a la bancarrota; vale más una sonrisa que un fármaco».

Pienso en mi padre y en sus desvelos antes de volar hacia el contenido de este libro. ¿Cuáles son los cimientos de una buena salud? Cuando contemplo a una persona, a menudo mujer, llenar su bolso con la lista interminable de productos farmacéuticos que le han recetado sus médicos, sé que todavía no ha descubierto lo que pueden hacer por ella esas mentes lúcidas que han indagado en los procesos físicos y mentales que nos rigen. Y es que catedráticos como John Bargh, de la Universidad de Yale, han desarrollado durante estos últimos años la idea de que en algunos aspectos la intuición puede ser mejor que la razón a la hora de curar. Las terapias orientadas a curar los desajustes emocionales han obtenido ya unos resultados hasta ahora desconocidos en la lucha contra esas enfermedades que quedaban en mano de la química pura y dura. Hablamos de la plasticidad cerebral.

Walter Mischel, junto a otros como él, ha explicado a lo largo de más de veinte años que es preciso preparar el cerebro de nuestros hijos durante su infancia para la redistribución del trabajo, que en el siglo XXI preponderará sobre la redistribución de la riqueza. Porque tenderá a desaparecer la dicotomía actual entre trabajo y descanso y se reformará la organización del trabajo para que resulte innecesario separar los dos periodos, y hay que estar preparado para asumirlo.

En lugar de pasar la vida preguntándose si hay vida después de la muerte, será mejor constatar que hay vida antes de la muerte. Con el conocimiento del genoma humano, hemos empezado a adquirir el control de nuestra vida, de nuestra especie y de todas las demás. Ahora se sabe que el pasado ha sido una fuente constante de ignorancia y diferenciación social, lo que ha llevado a científicos como Steve Pinker a proclamar que cualquier tiempo pasado fue peor. No sólo hay que aprender para ser feliz, sino también desaprender.

El cerebro consolida su sistema defensivo para protegerse, y corre un riesgo cierto cada vez que debe adaptarlo. De ahí la resistencia de los humanos al cambio, aunque sin cambiar es imposible salir de la crisis para ser feliz. No me cansaré de repetir a mis queridas nietas ni a mis queridos lectores que si hasta la estructura de la materia cambia, ¿cómo no vamos a poder cambiar nosotros de opinión? Diversos

experimentos demuestran que incluso los primates cambian de opinión más fácilmente que los humanos; de cara al futuro, la rigidez es insostenible.

Las diversas dimensiones de la felicidad, comprobadas mediante experimentos que han cifrado la correlación de los distintos factores responsables de ella, pueden expresarse en una ecuación matemática: los hay que reducen la felicidad, como el miedo o las mutaciones lesivas, que se colocan todas en el denominador de la ecuación; mientras que en el numerador aparecen todos aquellos factores que nutren la felicidad, como las relaciones personales, la emoción invertida en cada proyecto o la empatía aparecida hace unos cincuenta mil años y que muestra la capacidad de cada uno para saber colocarse en el lugar del otro. Por eso puedo afirmar, y me gusta hacerlo, que no hay proyecto sin emoción.

Durante años he conversado con científicos que contestaban a mis inesperadas preguntas desde sus laboratorios, microscopio en mano. He pensado muchas veces en dos cosas: primero, en por qué, a lo largo de casi veinte años, cuando he entrevistado a un científico en televisión sobre misterios que a él le parecían de todo menos misteriosos, agradecía la curiosidad ajena; y en segundo lugar, en cómo se maravillaban ellos tanto como yo mismo de que las preguntas y respuestas semanales estuvieran creando algo nuevo.

Por primera vez en España se están conjuntando la ciencia y la divulgación científica. Los muy jóvenes primero, y los mayores después, están creando una forma nueva de conocimiento. Gracias a las redes sociales, la gente se puede expresar y entrar en relación con otras personas, estén donde estén, algo inaudito en un país donde apenas hay ejemplos de revolución científica.

Como intento explicar en mi último libro, *El viaje a la vida. Más intuición y menos Estado*, el humano ya ha salido de las cavernas: al iniciarse el siglo XXI, por fin, ha conseguido aumentar su esperanza de vida, algo que no ha logrado ninguna otra especie. Cuenta ahora con un cerebro sobredimensionado, lo que le permite innovar de forma abrumadora, explotando las redes sociales y no sólo sus genes. Pero, sobre todo, ha empezado a aprovecharse de su plasticidad cerebral. Esto le confiere un poder insospechado para mejorar la sociedad.

¿Cuáles fueron los cimientos de esa revolución cultural? El descubrimiento, primero, de que mucho antes que la razón la propia intuición había ido elaborando la manera de pulir y elaborar el conocimiento. Tradicionalmente, se había considerado que nada ni nadie podía compararse con el poder de la razón. Cuando yo era pequeño, al salir de la escuela, en casa, se estaba únicamente

interesado en escuchar los hallazgos de la razón. Nadie se interesaba demasiado en los vericuetos milenarios de la intuición.

La investigación científica no desembocó en el descubrimiento de la intuición hasta que unos pocos científicos, como Gerd Gigerenzer, director del Centro para la Conducta Adaptativa y la Cognición del Instituto Max Plank, llamaron la atención de sus colegas sobre este asunto. La mayor parte de la psicología moderna sigue tratando de demostrar que las intuiciones fallan; y el propio premio Nobel Daniel Kahneman pasó muchos años intentando demostrar que uno no podía fiarse de la intuición.

El segundo gran cimiento del nuevo conocimiento fue constatar que, a veces, hay que saber prescindir de determinada información. Recuerdo muy bien cuando Gigerenzer me contó su propio experimento. Preguntaron a sus alumnos cuál de las dos ciudades —Milwaukee o Detroit— era la más poblada. Se produjo una clara división de opiniones: el 60 por ciento se inclinó por Detroit, que era la respuesta correcta, pero el resto optó por la otra. Prosiguieron con el experimento cambiando de país; en Alemania, con el resultado de que la mayoría ni siquiera había oído hablar de Milwaukee y conocía poco o casi nada de Detroit. ¿Qué creéis que pasó? ¿Qué proporción de alemanes acertó la respuesta? Lo sorprendente es que prácticamente todos.

¿Y cómo es posible que las personas con menos información realicen sistemáticamente mejores inferencias que las que saben más cosas? Aquí se aplica una regla general muy sencilla, que se denomina heurística de reconocimiento: escoge lo que conozcas. Hemos hecho experimentos similares con campeonatos de fútbol y el resultado fue parecido: sistemáticamente, las predicciones de los que no sabían eran igual de buenas que las de los expertos, y a veces mejores, porque disponían de conocimiento parcial, y, por lo tanto, podían basarse en esas reglas sencillas y poderosas que sustentan el acierto.

Y vuelvo, con todo el amor, a mi padre. Llegó un día muy doloroso en que pude descubrir en mi propio cerebro lo que me iba a dictar la heurística del reconocimiento: esa mañana, al acariciar el dedo gordo del pie helado de mi padre supe que la vida se había ido a otra parte. Padecía las consecuencias de un ictus desde hacía tiempo, y a él, que había ayudado y curado a tantos, se le fue su propia vida de las manos.

Recuerdo que Nadia y yo encabezamos el entierro de mi padre, un hombre cuyo lugar de nacimiento nadie recordaba. A partir de entonces, todo iba a ser distinto: sólo dos de los cuatro hijos le sobrevivieron, uno de ellos en Santo Domingo, muy lejos de aquí; y el

otro, yo mismo, en Washington.

En realidad, mi padre y yo estuvimos juntos en la Vilella Baixa hasta mis diez años. El primer alejamiento serio se produjo al ingresar yo en el Internado de los Hermanos de La Salle; de después no recuerdo nada, de antes lo recuerdo todo. Los huevos recién puestos por las gallinas, que el amor materno y paterno nos traían todos los fines de semana al colegio... Nunca los he probado tan frescos. Era la gran fiesta mayor. Desde entonces, y hasta que conocí a Suzel Bannel, mi mujer, nacida en Francia, jamás había sentido tan cerca el amor familiar, ni me había sentido tan agradecido en lo más profundo del alma.

Nunca como entonces me he sentido tan seguro de tener justo el padre y la madre que necesitaba. Esta tarde, al salir de un restaurante en Sarrià, me he encontrado en la calle con una persona treinta años más joven que yo a quien mi padre había curado el dolor que no le dejaba dormir, porque en cualquier momento la menstruación desbarataba su organismo. «Su padre era genial, bueno y optimista. Supo cómo hacerme olvidar los dolores provocados por la regla», me ha dicho. Esto me ha hecho pensar que gracias a mis padres fui capaz de desarrollar la ilusión y el interés por la ciencia que me han impulsado a escribir este libro y tantos otros.

PRIMERA PARTE

APRENDER ES FÁCIL, LO DIFÍCIL ES RECORDAR

1

INCLUSO LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA CAMBIA

¿Quién manda? El billón de bacterias.

Nunca me canso de contar lo mucho que se llegaba a enfadar mi nieta Alexia cuando, en pleno verano de sus seis años, insistía en culparme de haberle robado el hielo de su vaso de refresco. Ni por asomo eché mano a sus cubitos, pero su berrinche estaba justificado. El tórrido calor de agosto los fundía en un santiamén sin que mi querida niña se percatara de ello. Dada mi cercanía a su bebida, yo era el principal sospechoso y la única prueba de que disponía mi joven acusadora era la ausencia de cualquier otra persona alrededor del vaso. El error de Alexia fue buscar al responsable de un acto tan canalla (el calor era insoportable y el hielo imprescindible) en una persona (yo), y no en la temperatura de esa canícula interminable. Tras mi paciente explicación conseguí que comprendiera que ante ese sofocante estío ahí, a la intemperie, nadie podía impedir el cambio de estado de la materia. El hielo se desvanecía en agua. En esencia, todo seguía ahí dentro, mezclado con su refresco, lo único que había cambiado era la estructura en que se organizaban las moléculas de agua, primero formando cristales, luego un fluido donde esas partículas mantenían cierta cohesión sin llegar a despegarse unas de otras, porque de suceder eso se evaporarían.

Una de mis principales cruzadas en esta vida es hacer entender a la gente que puede cambiar de opinión. No tiene sentido aferrarse a un único pensamiento cuando vivimos en un universo en constante transformación. ¿Cómo no vamos a cambiar nosotros si incluso la estructura de la materia cambia? La evolución es cambio, lo son las reacciones químicas, la energía que utilizamos, los ecosistemas, la meteorología, el avance de la cultura, la ruptura con lo establecido, las revoluciones copernicanas, las vanguardias artísticas, estéticas, tecnológicas. Cambian nuestro tamaño, nuestra biología, nuestro cerebro, inteligencia, sentimientos e intuiciones. Y, pese a todo ello, insistimos en no cambiar de opinión. Permanecemos aferrados al mismo partido político, siempre seremos incondicionales del mismo equipo de fútbol, fieles a los amigos del alma, devotos del mismo dios, esclavos de la misma rutina y seguidores acérrimos de los mismos ídolos. Todo está en transformación constante, pero la mayoría seguimos avanzando a piñón fijo.

«¿Qué es lo que te sabría peor en la vida?», le pregunté en una ocasión al primero de la clase en una de mis lecciones del Instituto Químico de Sarrià, en Barcelona. «Dejar de ser quien soy», fue su respuesta inmediata. Cambiar de opinión era para él una verdadera traición, en lugar de ser un requisito para seguir adelante.

Una gran proporción de la población española se siente triste, sola o estresada: se ha calculado que más de un 20 por ciento vive en esas condiciones. Junto a este sentimiento subyacen, además, unas condiciones políticas representadas por una larga crisis y las mayores tasas de paro de toda Europa, un desempleo sobre todo juvenil que acrecienta el desencanto y amargura entre la sociedad. Se anticipaba un cambio en su momento, pero nadie movió ficha y el modelo socioeconómico se colapsó. Mi alumno, el mejor, aún no había entendido que si no cambias no te puedes adaptar. Afortunadamente, la gente en la calle exigió un cambio, que pudo materializarse en las siguientes elecciones municipales en Madrid, Barcelona y Valencia.

Las polillas reflejan la evolución

Somos máquinas increíblemente sofisticadas, pero como cualquier otro ingenio también cometemos errores. El ADN de las células de todo ser vivo guarda la información genética del individuo que las alberga. Sois, soy, somos el resultado de sacar copias de nuestras células una y otra vez. Al comienzo de nuestro desarrollo, una única célula original con un ADN y unos genes concretos cuya combinación nadie más posee se dividió en dos, ésas en dos más, y así sucesivamente. Luego, las nuevas copias se irían diferenciando en los distintos tejidos y órganos de nuestro cuerpo: la piel, el hígado, el cerebro, los genitales... En principio, aunque quizá no se parezcan en nada nuestras neuronas a nuestros hepatocitos, todas las células de nuestro cuerpo comparten los mismos genes. Pero digo «en principio» porque, en realidad, en el proceso de división celular a veces se producen errores al copiarse el ADN. Se trata de minúsculos fallos de copiado de la información genética, aleatorios, que pueden alterar la función de algunos genes. Son las llamadas *mutaciones*.

Una mutación es, por lo tanto, un cambio en la secuencia de un gen, una alteración en alguna de las instrucciones genéticas de nuestro desarrollo, y del de cualquier otro ser vivo. Estas variaciones pueden pasar desapercibidas si la célula muere a causa de ese error y desaparece sin dejar secuela alguna en la totalidad del organismo, o pueden extenderse a todas las células descendientes de la que ha sufrido dicha mutación. La expresión de estos genes mutados puede

tener una repercusión positiva, negativa o indiferente para el individuo, y eso incidirá directamente en su supervivencia. Si además las mutaciones se dan en las células reproductoras, tales alteraciones se extenderán a los individuos de las siguientes generaciones. Y son estas mutaciones, estos cambios, el motor de la evolución de las especies.

Si de algún ejemplo han abusado los genetistas para explicar la selección natural de un modo gráfico es del de polilla del abedul, la conocida por su nombre científico como *Biston betularia*. Como toda polilla, la del abedul revolotea por las noches y de día se esconde. Se posa en el tronco de ese árbol, de superficie blanquecina, donde pasa totalmente desapercibida de cualquier depredador, pues sus alas mimetizan a la perfección los colores de la corteza. Cuesta verlas. El color de las alas, del mismo modo que el color de la piel de los humanos, está determinado por un gen o un grupo de genes. Resulta que la *Biston betularia* tiene una variante de alas oscuras, determinadas por una mutación en sus genes. En el Reino Unido de principios del siglo XIX, las oscuras eran las rara avis, muy poco abundantes, pero su proporción empezó a aumentar hasta que a mediados de siglo, en plena época victoriana, el 95 por ciento de las mariposas pertenecían a la variante carbonífera —así se la distingue de la blanca—. ¿Qué diablos había sucedido?

El responsable de ese desequilibrio entre las polillas blancas y las polillas negras fue el progreso. Concretamente, la revolución industrial, la fiebre del carbón, el auge de la máquina de vapor. El humo de las fábricas oscureció cuanta superficie había a su alrededor, incluida la de los troncos de los abedules. Al ennegrecerse la corteza, las polillas blancas dejaron de estar camufladas para convertirse en presa fácil de cualquier pájaro que pasara por allí, al contrario que las mariposas oscuras, que se convirtieron entonces en las mejor escondidas de los depredadores. A las blancas se las comieron; las negras salvaron el pellejo, sobrevivieron y se reprodujeron. Un cambio genético, una mutación en las polillas, hizo que unas —las oscuras— se adaptaran mejor a un cambio ambiental que las otras. La selección natural actuó en favor de las *Biston betularia* negras.

Así evolucionan las especies. Ante un cambio del entorno, sobreviven los individuos con genes cuya expresión los convierte en los mejor adaptados al nuevo ambiente. Aquellos con mutaciones desfavorables serán eliminados por la selección natural y, por el contrario, los que tengan mutaciones que les den mayor ventaja en ese ambiente sobrevivirán, dejarán descendencia fértil y extenderán esos genes exitosos a las futuras generaciones. Este proceso, mantenido en

el tiempo, es el que da lugar a nuevas especies. Mutación a mutación, llega un punto en que los individuos acaban diferenciándose tanto que forman especies distintas. Y así, desde las más ancestrales bacterias de hace unos 3.500 millones de años, se han diversificado todos los seres vivos que hoy conocemos, tanto los que aún habitan la superficie de la Tierra como los que hoy son los fósiles de todas aquellas especies que se extinguieron en el pasado.

Otro aspecto fabuloso del caso de las polillas es que éste pone de manifiesto que la selección natural no actúa necesariamente de modo lento y progresivo. No hace falta esperar millones de años ni miles y miles de generaciones para observar un cambio adaptativo de una especie al entorno. Esto me lo supo aclarar muy bien el biólogo evolutivo Mark Pagel, a quien tuve la oportunidad de conocer ni más ni menos en Down House, la casa donde el mismo Charles Darwin vivió y escribió *El origen de las especies* y demás obras de referencia.

Pagel me explicó que, pese al título de *El origen de las especies*, Darwin nunca llegó a estudiar cómo una especie inicial acaba por transformarse en dos, lo que se conoce como *especiación*. Realizó un sinfín de estudios ahí mismo, en Down House, aunque nunca se detuvo realmente en la especiación y, según Pagel, eso fue probablemente porque se trata de un proceso muy largo. Pero él mismo, Mark Pagel, ha realizado trabajos que sugieren que la especiación podría ser mucho más rápida de lo que se cree. Si un accidente súbito —por ejemplo, una falla tras un terremoto— separa a la población de una misma especie en dos, puede que tras ese episodio cada subpoblación evolucione de forma diferente al adaptarse al nuevo hábitat a un lado y otro de la falla, y se acaben diferenciando en dos especies distintas. A un acontecimiento de este tipo, los biólogos evolucionistas lo llaman un *accidente feliz*, porque cuando observan el mundo de nuestro alrededor no ven los patrones que esperarían encontrar si las especies evolucionaran sólo a través de cambios graduales.

Down House 1, la casa de Charles Darwin en Dawne (Reino Unido).

POR QUÉ SE EXTINGUIERON LOS DINOSAURIOS

Accidentes igualmente rápidos pero de gran alcance y de naturaleza más catastrófica han sido los causantes de las grandes extinciones de especies. Para Richard Dawkins, padre de la teoría del gen egoísta, todo cambio radical en el entorno es una amenaza: las eras glaciales, las sequías, los períodos de grandes terremotos, los cometas y los meteoritos del espacio exterior son una amenaza. De hecho, se sostiene que los dinosaurios desaparecieron de la faz de la Tierra tras el impacto de un meteorito que causó un brusco descenso de la temperatura mundial. Los dinosaurios no supieron adaptarse al cambio, y su extinción, que también era parte del cambio ambiental, abrió espacio para que se expandieran los mamíferos. Sobre este episodio pasado, uno de los mejores paleontólogos de nuestro tiempo, Stephen Jay Gould, afirmó que, si no hubiera sido porque los dinosaurios desaparecieron de repente por la irrupción de ese meteorito, los humanos no existiríamos. Lo paradójico es que nuestra especie es la causante del cambio climático actual. Las actividades humanas intensifican el efecto invernadero, el calentamiento global, y ello está transformando el medio ambiente con una rapidez tan extraordinaria —contémplese en términos de escala geológica— que posiblemente causará la extinción de muchas especies. Nuestros actos, la tecnología, la civilización humana, son asimismo una amenaza, tal

y como afirmó Dawkins, porque han cambiado radicalmente el mundo: «A causa de la influencia humana, el mundo ha cambiado de forma drástica respecto a tiempo atrás. Y casi todos los seres, excepto los que pueden evolucionar muy rápidamente, como las bacterias, los mosquitos o las moscas, están adaptados para vivir en un mundo prehumano, y el mundo humano les es hostil. Algunas especies, como las ratas o las gaviotas, se adaptan muy bien, cambian su modo de vida, aprovechan los cambios que los humanos han provocado, pero otras especies no pueden adaptarse, y por eso muchas se están extinguiendo».

Creo que vale la pena añadir otra observación de Stephen Jay Gould con relación a las grandes extinciones, incluida la que estamos causando: «Hacen falta miles de millones de años para construir algo, pero ese algo se puede destruir en una minúscula fracción del tiempo que se necesitó para crearlo».

EL *MEME* EGOÍSTA

Ante todo cambio, sutil o drástico, catastrófico o parsimonioso, el grupo de organismos que mejor se adapta a un nuevo entorno es, sin duda, y tal como se ha mencionado, el de las bacterias. Ya lo avanzó Dawkins al referirse a los organismos que evolucionan rápidamente. Las bacterias se llevan la palma. Colonizan prácticamente todos los rincones del planeta, incluidos los lugares menos susceptibles de contener vida, los ambientes más extremos e incluso el interior de los animales, y han sobrevivido desde el primer albor de la evolución hasta la actualidad. Si las condiciones son óptimas para su desarrollo, las bacterias se multiplican exponencialmente, aumentan en número a un ritmo frenético y acumulan mutaciones con mayor rapidez, sobre las que actuaría la selección natural. Aunque no las veamos, las bacterias dominan el mundo, y es en su enorme habilidad de adaptación al cambio donde reside la clave de su éxito evolutivo. A ellas dedicaré en buena parte el próximo capítulo, pero las cito aquí para introducir un concepto que el mismo Stephen Jay Gould supo aclararme y del que quizá no nos hemos percatado aún: si bien la especiación puede ser más veloz ante determinadas circunstancias, como las que se dan en el mundo bacteriano, el cambio cultural es mucho más rápido que cualquier evolución biológica. Pensadlo. En los últimos doscientos años hemos desarrollado técnicas para desplazarnos más deprisa, volar, comunicarnos al instante con las antípodas… Incluso hemos salido del planeta y mandado una sonda al límite del Sistema Solar.

Según Richard Dawkins, la transmisión cultural es análoga a la genética en cuanto que puede dar origen a una nueva forma de evolución. Pero aclara que el lenguaje evoluciona por medios no genéticos a una velocidad más rápida en órdenes de magnitud que la evolución genética. En su libro *El gen egoísta*, Dawkins propone el concepto de *meme* como unidad de transmisión cultural, para entendernos: los genes de la cultura, que, como tales, tienen la capacidad de replicarse a sí mismos y extenderse a otros individuos. Los *memes* son ideas que se propagan de un cerebro a otro por imitación, y, al igual que los genes, cambian, mutan durante su replicación al pasar de una persona a otra. ¿Quién en su infancia no ha jugado alguna vez al juego de los disparates, en el que un mensaje inicial se susurra entre los participantes y acaba completamente distorsionado respecto a su versión original? Del mismo modo, un *meme* —el mensaje, en el juego— muta, y lo hace más deprisa que los genes.

En una ocasión, tuve la grata oportunidad de charlar sobre la evolución cultural con la psicóloga británica Susan Blackmore, tras la publicación de su libro *La máquina de los memes*. Para ella, los *memes* son instrucciones. Si los genes contienen las instrucciones para crear proteínas y dar lugar al cuerpo de un ser humano, de un ratón, de un protozoo, los *memes* contienen información análoga en el contexto de la cultura, del conocimiento. Un eslogan publicitario, una patente, un chiste, un poema, un programa político, este libro... son todos *memes*; algunos tendrán éxito, pero la gran mayoría pasarán sin pena ni gloria y se perderán en el olvido. «La idea es que los *memes* son información que compite para llegar a nuestro cerebro, a nuestros objetos, a nuestra ropa..., y, de esa manera, sobrevivir. Somos las máquinas de los *memes*, y éstos nos utilizan para lograr copiarse, de la misma forma que los genes nos utilizan para replicarse. Ésta es la similitud entre los genes y los *memes*.»

En alusión a la teoría del gen egoísta de Dawkins, según la cual los seres vivos son el chasis, los portadores de unos genes que compiten para sobrevivir, los *memes* hacen lo propio: nos usan para su supervivencia. El *meme* también es egoísta, y su consideración cobra sentido al tratar de explicar ciertos aspectos de la evolución que no acaban de cuadrar si únicamente se contempla el papel de los genes. Para Dawkins, «el darwinismo es una teoría demasiado amplia para ser confinada en el estrecho contexto del gen», y es en áreas como la psicología evolutiva donde precisamente este contexto necesita ensancharse.

Pregunté sobre este aspecto a Susan Blackmore con relación al

sexo y me explicó que los científicos más deterministas dirían que tenemos los deseos biológicos codificados y que los genes configuran nuestro cerebro para que nos gusten los hombres o las mujeres con un aspecto concreto. Pero entonces aparecen los psicólogos evolucionistas con el argumento de que el sexo puede escapar parcialmente de la biología porque ésta no puede controlar absolutamente todo lo que haces, sólo puede darte un cerebro para que te gusten las cinturas pequeñas, los pechos grandes, una piel tersa... «La teoría de los *memes* va mucho más allá, y afirma que lo que pasa en realidad es que tenemos un segundo replicador: no sólo los genes intentan copiarse, los *memes* también. Y estos *memes* lucharán contra los genes. Los genes tratarán de copiarse y los *memes* también. ¡Y establecen una competición! Porque si te pasas todo el tiempo propagando tus genes, practicando el sexo, teniendo hijos, criándolos, cuidándolos... Si yo tuviera quince hijos, seguramente no podría haber escrito mi libro.»

En esta línea, para Blackmore los *memes* compiten con los genes a través del control de natalidad. Desde la perspectiva de los *memes*, se trata de su victoria, al evitar la reproducción que antaño obligaba a tener que levantar a toda la prole. A cambio, la gente dedica más tiempo a leer, mirar la tele, ir a partidos de fútbol o a cualquier otra tarea que conlleve el intercambio de ideas y chismorreos. Para la escritora, en la vida moderna que llevamos, los *memes* están ganando la batalla, están desbancando por completo a los genes.

Los genes de la lengua

Selfie, *e-mail*, *community manager*, *trekking*... Son palabras que han calado en nuestro vocabulario cotidiano, y algunas lo han hecho en menos de un lustro. Lo he mencionado más arriba citando a Dawkins: el lenguaje evoluciona a una velocidad asombrosa. El mismo Mark Pagel es un estudioso de la evolución de las lenguas y, para él, los seres humanos tenemos dos sistemas hereditarios. Uno es el genético, y el otro es el lenguaje. Al igual que ocurre con los genes, transmitimos el lenguaje de padres a hijos y ellos, a su vez, se lo transmiten a sus hijos; y lo más interesante es que ambos evolucionan de un modo parecido. El lenguaje también sufre mutaciones, puesto que las palabras cambian, y el mecanismo con el que lo hacen muestra una estrecha analogía con el proceso de especiación.

Como afirma Pagel, «Si dos grupos de personas se trasladan a lugares distintos, las lenguas que hablan se separan, del mismo modo que esperamos que dos organismos se separen. Y después de mucho tiempo podemos ver cómo aparecen grandes familias de árboles

lingüísticos, debido a que se instalan nuevos moradores en algunas zonas; por eso tú y yo hablamos lenguas indoeuropeas, yo hablo inglés, tú hablas español. Se trata de lenguas relacionadas, porque ambas han evolucionado a partir de una lengua anterior común».

El del lenguaje es un ejemplo que ilustra a la perfección la teoría de los *memes* y su rol en la evolución, en este caso de la cultura. Así que, como los genes, las lenguas cambian y, tras esa transformación, se adaptan a las nuevas circunstancias y triunfan. Cuando no consiguen adaptarse, fracasan y se extinguen: «Los idiomas que han sobrevivido son como las especies supervivientes, tienen capacidad de adaptación. Permiten que penetren ideas nuevas, palabras nuevas. Los franceses tienen un ministerio entero que se dedica a evitar la entrada de ciertas palabras inglesas como "*le weekend*", "*le hamburguer*". Esto fosiliza el francés. Aunque los lingüistas saben que la falta de evolución también viene de las costumbres que las personas adquirieron con la imprenta: se familiariza y fija un tipo de ortografía. Así como tenemos muchas variantes de español que se hablan en todo el mundo, también tenemos muchas variantes de inglés y en el futuro habrá más variantes de chino, a medida que los chinos empiecen a moverse por el mundo. El idioma dominante será aquel que pueda atraer a más hablantes por tener la virtud de resolver mejor los problemas diarios de la gente».

INCLUSO NUESTRA BIOLOGÍA CAMBIA

Sirvan estos ejemplos para reflejar la necesidad de cambiar de opinión. Mantenerse firme en sus trece puede conducir a cualquiera al fracaso, y eso no es sólo una cuestión de genética sino de cultura. Pero no quiero cerrar este capítulo sin antes subrayar que cambiar para amoldarse al entorno es, además, también cuestión de edad. Solemos creer que tan pronto como dejamos de crecer, una vez nos ha aparecido el vello púbico, cuando les han crecido los pechos a las mujeres y la voz de los muchachos se ha hecho grave, el desarrollo llega a su fin. Ni por asomo es así. El veterinario de Cambridge y divulgador David Bainbridge me lo dejó claro hace unos años: «Eduard, el desarrollo no cesa». Existen un par de etapas en la vida del ser humano exclusivas de nuestra especie, inexistentes en otros animales. La primera es la adolescencia y la segunda, el período de vida posreproductivo que representa la mediana edad. Ambas están programadas en nuestros genes y, por lo tanto, forman parte del plan de desarrollo humano. A lo largo de nuestras vidas, nuestra biología se transforma y debemos ser capaces de adaptarnos a lo que nos marca el

cuerpo. De niños dependemos completamente de nuestros padres, en la adolescencia tenemos prisa por ser autónomos y distinguirnos de los demás, después nos empeñamos en mejorar la situación laboral y de pareja, en la mediana edad alcanzamos el máximo en cuanto a sociabilidad e influencia, y a partir de los sesenta, aproximadamente, empezamos a sentir los achaques de la edad. Cada situación implica una manera de encajar las circunstancias de la vida, lo que pasa irremediablemente por saber adaptarse en cada momento, o lo que es lo mismo: aprender. Y aprender es mantener el cerebro en plena forma, establecer nuevas conexiones y ejercitar la plasticidad neuronal.

No tengáis miedo y cambiad de opinión. Vuestros genes os lo dictan, el entorno os lo impone y hasta mi nieta Alexia, después de haber visto el hielo fundirse, lo sabe.

REFERENCIAS

- Richard Dawkins, *El gen egoísta*, Salvat, Barcelona, 1989.
- Susan Blackmore, *La máquina de los memes*, Paidós Ibérica, Barcelona, 2000.
- Stephen Jay Gould, *La vida maravillosa*, Crítica, Barcelona, 2006.
- Mark Pagel, *Wired for Culture. Origins of the Social Mind*, W. W. Norton & Company, Nueva York, 2012.
- David Bainbridge, *Middle Age. A Natural History*, Portobello, Londres, 2012.

2

SOMOS UNA COMUNIDAD ANDANTE DE BACTERIAS

Cuando nuestra madre «rompe aguas», comienza la irrupción de los microorganismos en nuestro cuerpo.

No estamos solos

Soy consciente de haber escrito un montón de veces sobre qué somos los seres humanos, qué hace que nos distingamos de los demás animales y por qué hemos triunfado en nuestra capacidad colonizadora y transformadora del mundo, pero no por ello voy a dejar de hacerlo. Acabamos de ver cómo nuestra especie es el resultado de millones de años de cambios y de sucesivas adaptaciones. En este nuevo capítulo voy a abordar el *qué somos* desde un punto de vista algo peculiar. Explicaré que en realidad ni quienes leen estas páginas, ni yo ni ningún otro humano, somos un organismo único. No estamos solos.

En nuestras entrañas, en la superficie de nuestra piel, en la nariz, en la boca, en los ojos y en los genitales habitan multitud de otros seres vivos, microscópicos, muy bien acomodados en el hábitat que les ofrece nuestro cuerpo. Es más, el número de células ajenas que alberga cada uno de nosotros supera el número de células de nuestros propios tejidos, y la diferencia no es pequeña. Los microbiólogos estiman que nueve de cada diez células de nuestro cuerpo son microbios y que, en conjunto, somos el hogar de uno a dos kilos de estos seres, de los cuales la mayor parte se concentra principalmente en el intestino. Los inquilinos más abundantes son las bacterias, pero en el cuerpo también residen hongos, virus o incluso artrópodos diminutos como los ácaros. Todos ellos componen el *microbioma* o la *microbiota*, el conjunto de microbios que viven en el cuerpo.

La buena noticia de dar hospedaje a tanto bicho, indetectable a simple vista, es que por lo general esto nos beneficia. Vivimos en una relación mutualista, lo que significa que si bien sacan partido al colonizarnos por dentro y por fuera, nosotros también aprovechamos la íntima relación que guardamos con ellos. En el caso del intestino, por ejemplo, los millones de bacterias que cubren su superficie se alimentan de cuanto pasa por ahí, de los productos de nuestra ingesta descompuestos por los ácidos del estómago y por un sofisticado cóctel

de enzimas. A cambio, dichas bacterias nos ayudan a digerir mejor los alimentos, nos proporcionan algunas vitaminas y, además, funcionan como una verdadera muralla contra la invasión de otros microbios perjudiciales.

Cada especie bacteriana es muy celosa de lo suyo y compite con las demás por los recursos, básicamente el espacio y el alimento..., nuestro alimento, por cierto. Pero este toma y daca entre bacterias tiende a estabilizarse. El sistema inmunitario, el mecanismo de defensa del cuerpo, mantiene a raya a todas estas bacterias, las buenas y las malas, que también las hay. En realidad, en el intestino no tenemos un puñado de microbios al azar, puestos ahí sin orden ni concierto, sino un ecosistema muy bien estructurado en el que las especies mantienen relaciones entre sí y con su entorno. Es cuando el equilibrio del ecosistema se tambalea que emergen los problemas. Por ejemplo, si se desbarata la armonía de la comunidad, algunas especies de bacterias perjudiciales pueden proliferar y volverse dañinas, favorecer la obesidad, causar problemas metabólicos, infecciones, alergias o enfermedades crónicas. Así, la salud humana y el buen estado del microbioma están estrechamente vinculados. Un desequilibrio persistente de este último puede robarnos años de vida. En otras palabras, la comunidad de microbios del intestino está sujeta al estado de salud del sistema inmunitario y viceversa.

Quien explica a la perfección el papel del microbioma en la salud humana es Bonaventura Clotet, director del Instituto de Investigación del Sida de Barcelona, el IrsiCaixa. Clotet lleva más de tres décadas centrado en el estudio del VIH, el causante del síndrome de inmunodeficiencia adquirida, el sida. Su objetivo es dar con una vacuna contra dicho virus. Ahora mismo, el desarrollo de la enfermedad en personas con VIH está controlado gracias a los tratamientos con fármacos antirretrovirales, que frenan la acción del virus aunque no lo eliminan. Encontrar la vacuna permitiría erradicarlo y ello, está convencido Clotet ante los esfuerzos invertidos en esta investigación, sólo es cuestión de tiempo.

Cuando se desarrolla el sida, el virus que lo provoca, el VIH, causa estragos en el sistema inmunitario, el mecanismo de defensa del cuerpo. En pocas semanas es capaz de dejar sin defensas el intestino, y eso hace que los microbios que habitan en él dejen de estar controlados. Algunos pasan a la sangre y su actividad desata procesos inflamatorios que, con el tiempo, se traducen en un envejecimiento acelerado. De eso se dio cuenta Bonaventura Clotet durante sus investigaciones con las personas que padecían sida y que envejecían más deprisa de lo que marcaba su edad cronológica.

Pero este fenómeno va más allá. El envejecimiento causado por dichas alteraciones no sólo afecta a quien padece sida, sino que puede producirse en el resto de la población si su sistema inmunitario se altera y se da un desequilibrio en la microbiota. Si se sigue una dieta poco equilibrada, en situaciones de estrés prolongado, durante una enfermedad, tras un tratamiento intensivo con antibióticos..., en todos estos casos, se puede dar una respuesta inflamatoria capaz de mermar la salud de quien la padece y, si se mantiene en el tiempo, anticiparle la senectud. Para el investigador, prevenir todos estos problemas implica tratar bien el microbioma, darle una dieta variada, con fruta, verdura, fibra, las grasas y proteínas justas, tratar de evitar los cambios de peso drásticos y realizar ejercicio con cierta regularidad.

Desde no hace mucho nos hemos dado cuenta de la enorme importancia de la microbiota para la salud, hasta tal punto que en 2008 se emprendió el Human Microbiome Project, una ambiciosa iniciativa internacional con el objetivo de secuenciar el genoma de unos 3.000 microorganismos que habitan dentro y en la superficie del ser humano. Esta tarea requiere un esfuerzo enorme, pero no es nada al lado de lo que supondría analizar las 40.000 especies del intestino humano, según las estimaciones de algunos investigadores. En cualquier caso, el inventario tendrá una utilidad enorme para conocer mejor muchas enfermedades metabólicas, gastrointestinales, de la piel, respiratorias, y también para diseñar tratamientos más eficaces y mejorar la prevención.

SOY MI MICROBIOMA

Nos gestamos en un ambiente cien por cien esterilizado, dentro del saco amniótico del vientre de nuestra madre. Allí no hay bacterias, ni hongos, ni virus, excepto si surgen problemas. En cualquier caso, la asepsia durará poco, nueve meses como máximo, pues inmediatamente después de salir de esa burbuja, cuando la madre rompe aguas, comienza la irrupción de los microorganismos en nuestro cuerpo. Los primeros en invadirnos son los del tracto genital, durante nuestra salida al mundo exterior. Luego vendrán todos los demás, procedentes del aire que respiremos, de los arrumacos y achuchones de quienes vengan a darnos la bienvenida a la vida, de cuanto comamos (incluida la leche materna), de las heridas... y a la par de esta colonización se construye el sistema inmunitario. Como el antivirus de un ordenador, el sistema inmune se actualiza con los nuevos invasores y elabora anticuerpos para controlarlos, tolerar sólo aquella comunidad que más nos beneficia y prepararse para futuras

infecciones. Por eso, los bebés enferman tan a menudo y tienen picos de fiebre con relativa frecuencia, y a medida que crecen contraen menos enfermedades infecciosas. De este modo, el sistema inmune amplía el catálogo de patógenos potenciales, los memoriza. Los microbios son el mejor *personal trainer* de nuestro sistema de defensas.

En parte, somos como somos gracias a los microbios. Y ahora hablo en términos generales. Hemos visto el caso del intestino en humanos y podría adentrarme en otros como los ojos, la boca o la vagina, pero, además, hay muchos ejemplos de cómo los organismos microscópicos determinan la biología y supervivencia de otros animales y plantas.

Para empezar, todos los animales tienen su microbiota intestinal, la cual puede guardar similitudes entre especies de grupos cercanos o que siguen dietas parecidas. Rumiantes como las vacas, las ovejas, las cabras o los ciervos son incapaces de digerir por sí solos la celulosa, la fibra de los vegetales. Los humanos en realidad tampoco podemos, pero a nosotros nos falta algo que sí tienen los rumiantes en su tracto digestivo. Se trata de una comunidad compuesta por bacterias, hongos y protozoos capaces de degradar la celulosa en moléculas que estos mamíferos sí pueden asimilar. Algo parecido les sucede a las termitas. Devoradoras insaciables de árboles y mobiliario, lo son gracias a unos microbios de su interior que les posibilitan digerir la madera. Animales de dieta monótona, como las mismas termitas u otros que se alimentan de sangre o savia de las plantas, cuentan con la contribución de microbios que transforman lo ingerido y les aportan vitaminas y otras sustancias vitales que per se no se encuentran en la fuente de alimento original. Las legumbres que comemos, las habas, las judías, los guisantes, son ricas en nitrógeno gracias a la contribución de unas bacterias que se instalan en unos órganos de las raíces de este grupo de plantas. Son bacterias con la capacidad de captar el nitrógeno del aire, el elemento más abundante de la atmósfera, pero que pocos seres vivos pueden utilizar, y transferirlo a la planta para que pueda crecer y dar fruto.

Otro ejemplo de intercambio se encuentra en los grandes arrecifes coralinos. En estos magníficos ecosistemas, los corales incorporan algas microscópicas en sus tejidos. Son algas unicelulares, del grupo de los dinoflagelados, que proporcionan oxígeno, nitrógeno y azúcares al coral, y éste, a cambio, les brinda apoyo con nutrientes como el fósforo y el nitrógeno. En mares muy pobres, como los del Caribe, esta estrecha asociación crea la base de uno de los sistemas más bellos y a la vez frágiles del planeta, ahora en jaque por la acidificación y el calentamiento de las aguas que está causando su muerte, el

blanqueado de los corales y la pérdida de la biodiversidad en muchos arrecifes.

Siguiendo en los ambientes marinos, algunos animales poseen los llamados fotóforos, unos órganos conectados al sistema nervioso donde almacenan bacterias capaces de emitir luz. Algunas medusas, moluscos, gusanos o incluso peces utilizan la bioluminiscencia de estos microbios para atraer a sus presas hacia la oscuridad del fondo abismal. Su alimentación —y supervivencia— depende de esas bacterias.

Seguramente, los ejemplos más sorprendentes de simbiosis los encontramos en aquellos microbios que condicionan el comportamiento de su huésped. Es el caso de la mosca de la fruta, la tan estudiada *Drosophila melanogaster*. Un equipo liderado por Evgeny Rosenberg e Ilana Zilber-Rosenberg, microbiólogos —y matrimonio— de la Universidad de Tel-Aviv, realizó un brillante experimento con estos dípteros. Los científicos crearon dos grupos de moscas. A unas las alimentaron con melaza y a las otras con almidón. Los insectos preferían emparejarse y reproducirse con quienes seguían la misma dieta, resultado ya observado en investigaciones previas; pero los científicos fueron más allá y trataron de desentrañar el porqué de esta preferencia y si ésta guardaba alguna relación con la microbiota de su intestino. Para comprobarlo, dieron antibióticos a las moscas, aniquilaron por completo su comunidad interna de bacterias y observaron, atónitos, que tras ese tratamiento los diminutos insectos escogían a sus parejas al azar, con independencia de su dieta. En cuanto a las no tratadas con antibióticos, hallaron distinta proporción de bacterias en su interior, según si las moscas se alimentaron de melaza o almidón. Asimismo, estudiaron ciertas feromonas implicadas en el emparejamiento de esta especie y detectaron diferencias entre los dos grupos. El conjunto de resultados sugirió a los Rosenberg y a su equipo que, efectivamente, la elección de pareja en la *Drosophila melanogaster* puede estar influenciada por las bacterias de sus entrañas.

Como en las moscas de la fruta, el comportamiento social —esencialmente con fines reproductivos— de muchos animales está influido por sus bacterias simbiontes. Este fenómeno no se restringe únicamente al diverso mundo de los artrópodos, también se da en otros grupos como los mamíferos. Bajo la cola de las hienas, por ejemplo, existen unas glándulas que liberan feromonas implicadas en un ritual de apareamiento compuesto por un sofisticado repertorio de sonidos, movimientos y olores. Las bacterias intervienen en las señales olorosas, y lo más interesante es que las hienas rayadas albergan una

combinación particular de bacterias distinta a la de las hienas moteadas, y, es más, dentro de cada una de estas especies, distintos clanes albergan distintas comunidades bacterianas que producen el olor característico de cada estirpe.

Para terminar este listado de ejemplos, me gustaría citar el curioso mundo de los líquenes, que encontramos en la superficie de piedras, troncos, edificios antiguos y a quienes apenas prestan atención algunos biólogos y poco más. Un liquen es una asociación de un hongo y un alga microscópica. Su relación tan estrecha ha suscitado controversia en cuanto a su clasificación, puesto que cuesta discernir si es más hongo o más alga; pese a que históricamente se le ha asignado a cada uno un nombre científico de especie (se conocen más de 20.000), si esta nomenclatura se mantiene es más bien por convención. Sea una o dos especies distintas, dejaremos a los taxónomos que sigan su contienda en torno a este asunto; lo importante de los líquenes es que tan estrecho vínculo es el resultado de un matrimonio, el del hongo con el alga, de millones de años. Juntos han evolucionado no como dos organismos independientes sino como un único ente.

SOY MI HOLOGENOMA

Os invito a reflexionar lo siguiente: ¿quién pasa el filtro de la selección natural? Según la aceptada teoría de Charles Darwin, el mejor adaptado al entorno. Pero ahora, visto lo visto sobre estas líneas, no es fácil determinar si el mejor adaptado es uno o muchos. Los microbios que viven en simbiosis con sus anfitriones aportan defensas a los segundos nutrientes y favorecen su reproducción, o lo que es lo mismo: suponen una ventaja evolutiva, les permiten una mayor adaptación al hostil entorno y contribuyen a reproducirse, a dejar descendientes portadores de esos genes tan exitosos. Dicho de otro modo, la ausencia de la microbiota implica una muerte casi segura de su hospedador, y con muerte no hay evolución.

La reflexión me obliga a recurrir de nuevo al matrimonio Rosenberg. Más allá de su impecable carrera en el campo de la ecología microbiana, los Rosenberg son los padres de una teoría postulada hace menos de una década, pero cuya inspiración se remonta a principios del siglo pasado, cuando en 1902 el anarquista y naturalista ruso Piotr Kropotkin publicó *The Mutual Aid (El apoyo mutuo)*, una obra donde destacaba la importancia de la cooperación en el proceso evolutivo de las especies biológicas. Un siglo después, en 2007, Evgeny Rosenberg e Ilana Zilber-Rosenberg publicaron su

Teoría de la Evolución del Hologenoma, según la cual la selección natural actúa sobre el conjunto del individuo y de su comunidad de microbios. Para Evgeny Rosenberg, separar a un individuo de su microbioma es algo artificial, puesto que a ojos de la selección natural ambos constituyen un único organismo. Al conjunto del genoma de un ser vivo y de su microbioma, los Rosenberg lo denominaron *hologenoma*, y la teoría que proponen acerca de su evolución se basa en cuatro generalizaciones:

1. Todos los animales y plantas establecen relaciones de simbiosis con microorganismos.
2. Los microbios simbiontes se transmiten entre generaciones.
3. La asociación entre el huésped y sus simbiontes afecta al éxito evolutivo de este conjunto de organismos en su entorno.
4. La variación en el hologenoma puede ser provocada por cambios en el genoma del huésped o el de sus microbios. Ante una situación de estrés ambiental, la comunidad microbiana puede sufrir cambios rápidamente.

Estamos ante una teoría muy, muy joven, todavía sujeta a debate dentro de la comunidad científica, pero en esencia lo que afirma es que los seres vivos no hemos evolucionado solos. Y esto no es nuevo. Sabemos que nos hemos valido de la ayuda de los demás, de nuestros congéneres, de otros animales y de las plantas, para adaptarnos mejor a lo que nos rodea. Ahora empezamos a descubrir cómo nuestra estrecha relación con lo más pequeño, los microbios, también ha esculpido a los seres vivos a lo largo de la evolución. Invito a mis nietas a dar un enorme salto en el tiempo para demostrarles que nuestras células, las de nuestra propia carne, las neuronas, los glóbulos rojos… tienen un origen bacteriano. ¡Si es que les debemos tanto a estos bichos minúsculos!

Una comunidad con historia

En aguas poco profundas de la costa este estadounidense habita una criatura increíble, una pequeña babosa marina de color verde en parte alimentada por energía solar. Desconozco si en nuestra lengua existe un nombre vernáculo para este animal, pero en nomenclatura científica se le conoce como *Elysia chlorotica*. En realidad, en sus estadios más juveniles el molusco es pardo, pero con el tiempo va adquiriendo su característica coloración verdosa gracias a una dieta basada fundamentalmente en una especie concreta de alga. La

clorofila es la molécula que pinta de verde las plantas y las algas, y que les permite realizar la fotosíntesis, utilizar la luz del sol para fabricar azúcares con los que construyen su propio material de sustento. En la célula vegetal, dicha clorofila se ubica en unos órganos llamados cloroplastos, verdaderas fábricas microscópicas de azúcares impulsadas por la energía de la luz. Pues bien, si la *Elysia chlorotica* adquiere el mismo color que su alimento se debe a que el molusco no digiere los cloroplastos del alga, no los descompone en su tracto digestivo, sino que los incorpora a sus propias células, enteros y funcionales. Los cloroplastos que la babosa ha arrebatado al alga seguirán su tarea de aprovechar la luz para fabricar azúcares, su propia comida, una nueva fuente de energía para que el animal realice sus tareas. Este molusco y algunos otros especímenes del mismo grupo son los únicos animales conocidos capaces de realizar la fotosíntesis y, además, lo hacen mediante un proceso muy próximo al que explicaría el origen de la célula eucariota, la de los animales, plantas, hongos y protozoos: el conocido como *simbiogénesis*.

Los primeros seres en habitar el planeta, hace unos 3.500 millones de años, fueron bacterias, organismos compuestos por una única célula y con el material genético esparcido en su interior. No nos engañemos: aún hoy, después de semejante evolución, las bacterias dominan la Tierra y colonizan absolutamente todos los rincones de la superficie, aunque para nosotros todavía son un enorme campo a explorar. Conocemos unas 6.000 especies de bacterias, pero se estima que podrían existir unos 10 millones. Y, como he dicho, les debemos mucho. Todos los seres vivos de la actualidad proceden de un ancestro bacteriano y su origen se gestó hace entre 1.500 y 2.000 millones de años, momento en el que se produjo el gran salto evolutivo de la célula sin núcleo (las bacterias) a la célula eucariota, con núcleo. Y eso se dio gracias a un proceso parecido al caso de la *Elysia chlorotica*, en el que sus células engullen e incorporan a su cuerpo los cloroplastos del alga que come el molusco.

Esto me lo dejó claro la bióloga Lynn Margulis hace más de una década. Para ella, la vida se divide en sólo dos tipos: «Uno son las bacterias y el otro está hecho de bacterias de diferentes tipos. El primer grupo, el de las bacterias, son células que carecen de núcleo. Todos los otros [el segundo grupo], como los nuestros, están hechos de células con núcleo».

Es decir, para Lynn, incluso los animales estamos hechos de conjuntos de bacterias —completamente modificados durante el largo trecho de la evolución—, y ello lo justificaba con la Teoría de la Endosimbiosis Seriada, que explica el origen de la célula con núcleo a

partir de sucesivas simbiosis entre bacterias. Según Lynn, en algún momento remoto se produjo una innovación en el mundo vivo que implicaba la capacidad de envolver a otra bacteria por completo, de fagocitarla. De este modo, una célula podía engullir a otra, destruirla y alimentarse de ella. Pero algunas no se alimentaron de sus presas sino que se fusionaron y sacaron partido una de otra. «Cuando se fusionan organismos de diferentes tipos y dan lugar a nuevas células, o cuando llegan a hacer órganos diferentes y nuevos, eso es simbiogénesis.»

Así, mediante fusiones sucesivas entre bacterias, mantenidas en el tiempo, se formarían los distintos componentes de las células eucariotas: el núcleo (donde la célula guarda celosamente su ADN, el material hereditario), las mitocondrias (los órganos productores de energía) y los cloroplastos que encontramos en algas y vegetales. Luego habría que esperar aún unos cuantos cientos de millones de años para que se diera otro gran salto, el de la célula eucariota simple, individual, al de los seres pluricelulares —animales, plantas y la mayoría de los hongos—, compuestos por grupos de células organizadas y especializadas. Eso fue hace unos 670 millones de años atrás, pero ese gran salto daría lugar a todos los seres vivos que hoy podemos ver sin necesidad de un microscopio.

Hasta aquí hemos visto numerosos ejemplos sobre el papel crucial de los microorganismos en la evolución de los seres vivos, desde los primeros rudimentos de célula hasta los complejos organismos multicelulares de la actualidad. Hoy siguen aquí, y, de entre todos los microorganismos, especialmente las bacterias habitan en todas partes. Están con nosotros y, dentro de nosotros. Carl Sagan, con quien estuvo casada Lynn Margulis, afirmó en una ocasión que somos polvo de estrellas. Tenía razón, pero en el contexto de la evolución —y creo que con esto estaría de acuerdo Lynn— podemos decir que somos carne de bacterias. Tras lo expuesto en estas páginas, que levante la mano quien siga sin creer que somos una comunidad andante de estos seres.

REFERENCIAS

- Human Microbiome Project: <http://www.hmpdacc.org/> Consultado el 25/05/2015.
- Curr Opin Gastroenterol, enero de 2008; 24(1): 4-10.
- Daniel N Frank, Norman F Pace, «Gastrointestinal microbiology enters the metagenomics era», *Current Opinion in Gastroenterology 2008*; 24(1): 4-10.
- Ramon Margalef, *Ecología*, Planeta, Barcelona, 1981.
- Gil Sharon, Daniel Segal, John M. Ringo, Abraham Hefetz, Ilana

Zilber-Rosenberg, Eugeny Rosenberg, «Commensal bacteria play a role in mating preference of *Drosophila melanogaster*», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2010; 107(46): 20051-20056.

- Eugeny Rosenberg, Ilana Zilber-Rosenberg, *The Hologenome Concept: Human, Animal and Plant Microbiota*, Springer, Suiza, 2013.
- Kevin R. Theis, Arvind Venkataraman, Jacquelyn A. Dycus, Keith D. Koonter, Emily N. Schmitt-Matzen, Aaron P. Wagner, Kay E. Holekamp, and Thomas M. Schmidt, «Symbiotic bacteria appear to mediate hyena social odors», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2013; 110(49): 19832-19837.
- Piotr Kropotkin, *The Mutual Aid*, CreateSpace Independent Publishing Platform, Londres, 2014.
- Lynn Margulis. *Una revolución en la evolución*, Universitat de València, Valencia, 2003.

3

NO BASTA CON COMPRENDER LA BIOLOGÍA, HAY QUE CONTROLARLA

Los humanos compartimos muchos genes
con la mosca de la fruta.
Copia, corta y pega para descubrir los
procesos de secuenciación del ADN.

No pretendo insinuar haber poseído una vocación naturalista comparable a la de alguien de la talla de Charles Darwin, sólo reconozco haber mantenido una muy íntima y modesta relación con la flora, la fauna y el medio natural. Tuve una niñez afortunada en este sentido, pues poseía los dos requisitos imprescindibles para estrechar ese vínculo con la naturaleza: la curiosidad inherente a toda infancia y el inigualable entorno de la Vilella Baixa. Allí, al salir escopeteados de las eternas jornadas escolares, pasábamos las tardes a orillas de la confluencia del *riu* Petit con el *riu* Gran o en las rocas coloreadas de los Rogerets, a media vertiente de los Montalts. En esos rincones, mis amigos y yo explorábamos al dedillo los recursos naturales de la zona. Nos fascinaba en especial lo animado: bichos, pájaros, musarañas, ranas, lagartijas… Motivados por nuestro instinto cazador, aprendíamos de esas bestias y acercarse a ellas era más fácil si conocías su actividad, dónde se escondían, qué comían, su comportamiento…

Siete décadas después, todavía hoy imito el canto de la perdiz en mis charlas y clases. Recurro a dicho reclamo para dar un toque de atención a esa parte de la audiencia más volátil, medio dormida en los laureles al inicio de mi explicación. El sonido los desvela y no pierden detalle, y eso lo aprendí de muy niño como única forma de que los perdigones se aproximaran a nosotros, embelesados como Ulises ante el irresistible canto de las sirenas. Para apresar al más desdichado de los polluelos debías concentrarte en uno, sólo en uno, focalizar toda tu atención hacia él y obviar a los demás; de lo contrario —aseguraban mis amigos—, estabas destinado al fracaso.

Es objetivo de la ciencia explicar cómo funcionan el universo, la vida, lo que nos pasa por dentro, e históricamente, biólogos, geólogos, físicos y químicos han observado cuanto hay alrededor para formular sus hipótesis y teorías, siempre con el apoyo de las matemáticas. Así lo hicieron Pitágoras, Aristóteles, Hipatia, Galileo, Darwin, Newton, Einstein, Curie y tantos, tantos otros. Y así lo hacen aún hoy la

mayoría de los científicos. Pero en las últimas décadas hemos entrado en una nueva era de la ciencia en la que para descubrir y comprender no basta con observar, también hay que controlar.

Moscas decapitadas

Una de las cosas más extrañas que he visto en mi vida —y no he visto pocas, eso lo garantizo— ha sido una mosca de la fruta revoloteando... ¡sin cabeza! Fue en la Universidad de Oxford en el año 2010, en el laboratorio de uno de los artífices de la *optogenética*, una joven disciplina que seguramente dará que hablar en los próximos años. Austríaco de nacimiento y médico de formación, Gero Mieseböck supo meter las narices en campo ajeno y mezclar la genética con la fotónica, la ciencia de la luz, y experimentar con este cóctel de disciplinas. Fue él quien me reveló que, efectivamente, observar hoy en día ya no es suficiente: «Muchos creen que en la ciencia todo se reduce a la observación, pero a medida que adquirimos una comprensión cada vez mayor de cómo funciona la naturaleza es importante poder interferir y descubrir si nuestras ideas son correctas o incorrectas. Debemos poder realizar experimentos controlados para comprobar si lo que creíamos es acertado o está fuera de lugar».

Abrir la ranita de turno para averiguar qué hay ahí dentro ya no basta; hay que poder controlar su biología y aceptar o rechazar las hipótesis que los científicos ponen a prueba en los experimentos. La mosca descabezada que batía sus alitas como cualquier otra en plenas facultades físicas, lo hacía en realidad bajo el control de Gero Miesenböck y de su equipo. Eran ellos los que decidían cuándo el pobre bicho emprendía el vuelo y cuándo volvía a posarse sobre la superficie de la jaula. ¿Cómo demonios lo hacían?

La respuesta está en la optogenética. Los investigadores de Oxford modificaron genéticamente las moscas de la fruta. En particular, lo que hicieron fue introducir un gen en su ADN que codifica una proteína fotosensible, esto es, que reacciona a la luz. La clave estuvo en hacer que ese gen se expresara sólo en las neuronas. Y lo consiguieron. Dotaron así a las moscas transgénicas de células nerviosas fotosensibles que se activaban o desactivaban, como un interruptor, al recibir un haz de luz gracias a la inserción de esa proteína.

Al iluminar a las moscas, Miesenböck consiguió provocarles esa respuesta a una amenaza: volar. Pero cabía la duda de que los insectos huyeran asustados por el estímulo visual del rayo de luz que les entraba por los ojos. Como el científico tenía constancia de que las

moscas de la fruta pueden sobrevivir un tiempo sin cabeza, decidió salir de dudas. Las decapitó, repitió la prueba…, *et voilà*! La luz las hizo volar aún sin cabeza ni ojos. Con este experimento, y mediante el control, constataron la presencia de neuronas implicadas en la respuesta a amenazas fuera del cerebro, en otro lugar aparte de la cabeza. Y demostraron que la optogenética funciona.

En realidad, ya con anterioridad se habían realizado cantidad de experimentos basados en el control y la intervención. En la neurociencia ha sido constante desde los primeros estudios de lesiones con pacientes que sufrían daños en algunas partes del cerebro, que aportaron conocimiento sobre las funciones de ciertas regiones. Sin embargo, comparado con el trabajo que se realiza en la actualidad, todavía eran intentos bastante rudimentarios.

Para buscar el origen de la optogenética debemos retroceder un poco en el tiempo y citar al polifacético Seymour Benzer, físico, biólogo molecular y genetista del comportamiento. Dedicó parte de su carrera a entender cómo funciona el sistema nervioso mediante herramientas genéticas y ello lo llevó a ser el precursor de un campo denominado *neurogenética*. Esos trabajos sirvieron de inspiración a Miesenböck para desarrollar la nueva técnica en un organismo tan sencillo como la mosca del vinagre, con el fin de desentrañar principios fundamentales sobre cómo funciona el cerebro, el del insecto, pero también el nuestro

Uno de los intereses de Francis Crick, tras descubrir la estructura de la doble hélice del ADN junto a James Watson (a ellos volveré un poco más adelante en este mismo capítulo), fue la neurociencia. En una charla con Benzer, gran defensor de la *Drosophila melanogaster* —nuestra conocida, la mosca de la fruta— como animal modelo para la experimentación, Crick puso en duda que estos insectos sean los animales más adecuados para estudiar cuestiones como, por ejemplo, la conciencia. A eso Benzer respondió: «Francis, no subestimes el poder de un sistema nervioso simple. Probablemente las moscas puedan hacer lo mismo que tú y tal vez incluso más. ¿Acaso puedes levantarte, volar hasta el techo y quedarte ahí colgado del revés? ¿Verdad que no?».

Benzer tenía razón. En un cerebro del tamaño de un alfiler, encerrado en la cabeza de un diminuto bicho que se reproduce en tan sólo una semana, se coordinan un sinfín de acciones comunes a las nuestras: aprender, tomar decisiones, aparearse, comunicarse, orientarse… Encima, y por increíble que parezca, los humanos compartimos muchos genes con la mosca de la fruta. Ante este trasfondo, la optogenética abre muchas puertas para el estudio del

cerebro y puede arrojar un gran caudal de conocimiento para entender mejor cómo somos los humanos, y lo hace incidiendo en la biología.

Muchas personas perciben la optogenética como un método a través del cual, en un futuro, se podría controlar el comportamiento de la gente. Sin duda, la idea de activar y desactivar neuronas con haces de luz lo sugiere, pero, como Miesenböck subraya, ése no es el objetivo. El devenir de una sociedad controlada por un Gran Hermano es por el momento mera especulación ficticia. Sin embargo, las aplicaciones terapéuticas son prometedoras y el potencial existe. Además de ayudarnos a entender mejor el cerebro, la optogenética puede sustituir prácticas más invasivas para tratar ciertas enfermedades, como la estimulación eléctrica profunda para trastornos como el párkinson o la depresión, recuperar la actividad de regiones cerebrales dañadas tras un ictus, controlar ataques epilépticos o incluso contribuir a luchar contra la adicción a alguna droga. Las aplicaciones son muchas y prometedoras.

CONTROLAR EL ADN

El 21 de mayo de 2010 la vida artificial copaba las portadas de todos los periódicos. El biólogo y empresario Craig Venter, junto a un equipo dirigido por Hamilton Smith, presumía de haber realizado la hazaña de crear in vitro (y patentar) una nueva forma de vida: la bacteria *Mycoplasma mycoides JCVI-syn1.0*. La que el propio Craig Venter Institute vendió a los medios como «la primera célula bacteriana sintética capaz de autorreplicarse» suponía, ciertamente, un gran hito técnico de la nueva biología, pero el modo como se difundió alborotó a la comunidad científica, la cual se empeñó en poner los puntos sobre las íes en todo este asunto. Muchos criticaron el autobombo exagerado de Venter, ya que, pese al mérito del trabajo —que lo tuvo—, el equipo no había creado vida sintética, al menos al cien por cien. El genoma de la nueva bacteria era sintético, de acuerdo, pero no así el resto de la célula que lo alojaba. De todos modos, al margen del ruido suscitado por la noticia, el cómo se hizo no deja de ser muy interesante.

Los autores optaron por tratar de reproducir la forma de vida más simple. Se trataba de un organismo compuesto por una única célula con menos de 500 genes: una bacteria del género *Mycoplasma*. En el laboratorio crearon el genoma de la especie *Mycoplasma mycoides*, he aquí el mayor mérito de su gesta. Sintetizaron químicamente las bases nitrogenadas que componen la molécula de ADN y las ensamblaron ordenadamente en un par de hebras complementarias. La cadena

obtenida de modo artificial contenía algo más de un millón de pares de bases que luego insertaron en un ejemplar de *Mycoplasma capricolum*, otra especie del mismo género, al que antes habían despojado de su ADN original.

Los científicos consiguieron que el genoma sintético de *M. mycoides* tomara las riendas de *M. capricolum* y el pequeño *Frankenstein* desempeñó las funciones básicas de todo ser vivo: nutrirse, relacionarse con su entorno y, en apenas unos minutos, empezar a reproducirse. Los descendientes de ese organismo fueron *M. mycoides* y no *M. capricolum*. Para distinguirlo del *M. mycoides* original, sus autores añadieron el código *JCVI-syn1.0* al nombre de la especie. El genoma sintético, por lo tanto, fue el que determinó qué y cómo sería la descendencia, hecho que ya me había vaticinado Hamilton Smith un par de años antes del hallazgo: «Eduardo, si se sintetiza el genoma se crea una célula sintética, porque ese genoma determinará lo que será la célula una vez colocado en ella, y una vez se logra esto es posible empezar a diseñar células. Ahora mismo queremos diseñar la célula mínima. Queremos entender completamente todo el conjunto de genes de una célula viva; saber qué hace exactamente cada gen en la célula y cómo encaja en el modelo celular».

De nuevo, Hamilton Smith ponía de manifiesto la necesidad de incidir en la biología, de controlarla para aprender y comprenderla.

COPIA, CORTA, PEGA

El siglo XXI empezó con la publicación de la secuencia del genoma humano, nuestro ADN. Desde entonces, han proliferado los trabajos de secuenciación del ADN de un sinfín de otras especies. Todos estos trabajos de secuenciación, y muchos otros propios de la biotecnología, se basan en un copia-corta-pega genético cuyo origen está a la vuelta de la esquina. Sólo hay que retroceder a mediados del siglo pasado, a 1953, momento en que James Watson y Francis Crick publicaron la estructura del ADN en la revista *Nature*. Quince años después, Watson y Crick ganarían el premio Nobel por ese trabajo.

Un desfile de premios Nobel traza la historia de las herramientas genéticas, desde que se desveló la doble hélice hasta la secuenciación del genoma humano. En 1959, Severo Ochoa, entonces investigador en la Universidad de Nueva York, y su discípulo, Arthur Kornberg, fueron galardonados con el premio Nobel de Medicina y Fisiología por describir los procesos mediante los cuales la molécula de ADN se duplicaba gracias a una enzima encargada de sacarle copias: la *ADN*

polimerasa. Dos décadas más tarde, Werner Arber, de la Universidad de Basilea, Daniel Nathans y el mismo Hamilton Smith, ambos de la Universidad Johns Hopkins de Baltimore, describieron unas moléculas de la célula bacteriana capaces de cortar el ADN por puntos muy concretos. A éstas se las denominó *enzimas de restricción*, y gracias a su descubrimiento los tres científicos se llevaron también el mismo premio en 1978. A finales de los años setenta, estos y otros logros sentaron las bases del copia-pega genético y de todas las líneas de investigación que ello desencadenó. La guinda la acabó poniendo más adelante Kary Mullis, de la empresa estadounidense CETUS, al idear un método para sacar un gran número de copias de una secuencia de ADN determinada. Se le concedería otro Nobel, esta vez de Química, en 1983, por diseñar una técnica con muchísimas aplicaciones en biología molecular denominada *reacción en cadena de la polimerasa* (PCR, de sus siglas en inglés), que abarató y aceleró las tareas de secuenciación del ADN.

Todas estas técnicas, en paralelo al auge de las tecnologías de la información y la comunicación, han sentado las bases de la revolución de la nueva biología que predijo Gero Miesenböck. Incidir en el genoma de los seres vivos representa tener acceso directo a su manual de instrucciones, y esta información abre un amplio abanico de posibilidades. Entre otras muchas ventajas, conocer el genoma permite estudiar las funciones de los genes —hemos desvelado el código, pero aún desconocemos mucho sobre el papel de cada gen—, cómo se expresan, ensayar cambios cuyos efectos puedan beneficiar a la salud, dar con soluciones a problemas ambientales, modificar organismos genéticamente para que fabriquen determinados productos.

Por ejemplo, la insulina humana que se inyectan las personas diabéticas está producida esencialmente por bacterias. Hasta finales del siglo pasado, los diabéticos no tenían otro remedio que inyectarse insulina de otros animales relativamente cercanos a los humanos, como los cerdos, pues no existía modo alguno de obtener esta hormona. La del cerdo es parecida a la nuestra, aunque no exactamente igual, y eso solía complicar los tratamientos, hasta que en 1982 —bastante antes de conocer el genoma de especie alguna— se aprobó el primer organismo modificado genéticamente, el primer transgénico. Era una bacteria a la que se había insertado el gen de la insulina humana. Desde entonces, las bacterias son las fábricas de esta sustancia, la de nuestra propia especie y no la de cualquier animal. Son bacterias, pero la insulina que producen es humana. Sirva este ejemplo para anticipar lo que abordaré más adelante en este libro sobre cómo el conocimiento del genoma y el avance tecnológico están

dibujando el futuro de la humanidad, aunque, como veremos a continuación, se nos escapan muchos detalles. Todavía tenemos bastante trabajo por delante.

NO SÓLO GENES

Los gemelos homocigóticos proceden ambos de una misma célula inicial, un cigoto. Esa célula, con un determinado ADN, se escinde en dos, y luego cada una desarrolla un individuo con el mismo material genético. El resultado son dos hermanos idénticos genéticamente, aunque a veces muestran grandes diferencias en cuanto a lo físico. Se han dado casos, por ejemplo, de parejas de gemelos homocigóticos en que uno padecía esclerosis múltiple mientras el otro vivía totalmente sano. ¿Cómo se entiende eso?

Hace años, me encontré en California con Francisco José Ayala, en un momento en el que todo el mundo creía que una vez desvelado nuestro genoma sabríamos exactamente el secreto de la vida. El gran genetista español me puso en guardia: «Bueno, cuidado porque a lo mejor el genoma no nos lo explica todo», me dijo. Hoy sabemos que tenía razón.

Años después, ya secuenciado el genoma humano, me lo dejó también entrever Luis Serrano, hoy director del Centro de Regulación Genómica, en Barcelona. Reconoció que el genoma es una pieza muy importante, al contener la información básica, pero que sólo con eso no se puede entender un organismo. «Necesitamos entender las relaciones entre todas las partes de lo que codifica ese genoma. Es como si tuviéramos todas las piezas de un Airbus desplegadas sobre una pista de aterrizaje: un tornillo, un pedazo de turbina, un trocito de chapa... Sus partes por sí solas no explican que el aparato pueda volar.»

Aún en la pasada década de los setenta, el biólogo escocés Conrad Hal Waddington acuñó el término *epigenética* para definir aquello que *da sentido* al genoma. Si la genética corresponde al alfabeto del genoma (los genes), la epigenética es lo que da significado a estas palabras, o, en términos más biológicos, a la expresión de los genes. La epigenética es la responsable de que en las células del corazón no se expresen los mismos genes que en las neuronas.

Dos hermanos gemelos monocigóticos tienen exactamente los mismos genes, pero éstos se pueden expresar de forma distinta según las circunstancias de la vida y el ambiente en el que viva cada uno. Imagina que un gemelo sigue una vida monacal, libre de excesos, habita en el campo y practica deporte a diario, mientras que el otro es

una estrella de rock, un crápula sometido a una presión constante que suele disparar sus niveles de estrés, fumador, bebedor empedernido y ciudadano de una gran metrópolis inmersa en una eterna nube de contaminación. Por fuerza, el ambiente forjará caminos distintos por los que discurrirá el destino de cada uno.

Sobre este aspecto hablé con uno de los grandes expertos en epigenética de nuestro país, Manel Esteller. Hoy sabemos que la expresión de los genes está regulada por distintos mecanismos, y Esteller ha centrado sus estudios en el principal de ellos, la *metilación*, y su relación con el cáncer. La metilación consiste en un proceso natural de la célula en que se añaden unos compuestos químicos, los *grupos metilos*, al ADN. Los genes, por defecto, se expresan, pero si están metilados, si son portadores de este grupo metilo, permanecen silenciados. Los grupos metilo actúan, por lo tanto, como un interruptor: si el gen está metilado, está *off*; de lo contrario, está *on*. Según Esteller, la metilación permite que una célula madre sea distinta de una célula diferenciada, y eso define el programa epigenético de un individuo.

«El problema viene cuando se lee mal ese programa. Entonces aparecen tumores, enfermedades cardiovasculares, puede aparecer demencia, etc. Todas estas enfermedades tienen un componente genético, evidentemente, pero también un componente epigenético con una importancia muy similar, de un 50 por ciento. Imagina dos hermanas con una misma mutación que les confiere un elevado riesgo de tener cáncer de mama. Sin embargo, tienen distinta epigenética. En una epigenética puede que aparezca a los treinta años mientras que en la otra, quizá, lo haga a los sesenta años. Eso quiere decir que podemos ser deterministas genéticos, pero hasta cierto punto.»

Esteller me estaba confirmando que la genética nos predispone a ser de una forma u otra, pero no nos determina por completo. La modulación posterior debida a las marcas epigenéticas, a la metilación del ADN, también importa. Y mucho. Además, mientras nuestros genes son inmutables, su expresión depende en parte de nuestros hábitos de vida; porque la metilación está influida por el ambiente.

La nueva biología debe necesariamente contemplar estos factores. La tendencia de la biomedicina tras el hallazgo del genoma humano era avanzar terapias personalizadas, basadas en la genética de cada uno. Ahora sabemos que con eso no basta, ya que debemos integrar la información epigenética.

La era de las *ómicas*

El cuento no acaba en la epigenética. En 2010, un trabajo dirigido por Stephen Kingsmore, del Centro Nacional de Recursos Genómicos, en Estados Unidos, analizó y comparó con exhaustivo detalle el genoma y el epigenoma de tres pares de gemelas homocigóticas en las cuales una padecía esclerosis múltiple y la otra no. El resultado fue sorprendente: no hallaron diferencia alguna, ni en los genomas entre hermanos (un resultado que esperaban) ni en los epigenomas (ésta fue la sorpresa).

Parecía que la epigenómica complementaría la genómica para explicar los fenómenos incomprendidos de la biología, y pese a que contribuye a hacer entender muchas realidades que antes desconocíamos, resultados como el de Kingsmore sugieren que aún hay cuestiones que se nos escapan. El nuevo paradigma es el de observar y controlar la biología, aunque estamos viendo que el control está sujeto a la enorme complejidad de la vida. Asimismo, en los últimos años la investigación se vuelve más y más compleja. Hoy se están desarrollando múltiples disciplinas que tratan de abordar los objetos de estudio desde su totalidad. Me refiero a estas ciencias coronadas con el sufijo «ómica», como la genómica o la epigenómica mismas, y otras muchas como la proteómica (disciplina que estudia el conjunto de las proteínas), la metabolómica (los procesos metabólicos) o la conectómica (el conjunto de conexiones neuronales)… El gran reto será poder integrar todo este conocimiento para comprender verdaderamente qué es la vida, tal y como me reflejó Luis Serrano hace algún tiempo: «Ahora vemos que las relaciones son múltiples y que para entender cómo es un ser vivo hay que estudiarlo globalmente. Creo que en algún momento un premio Nobel se dará a alguien que dentro de esa complejidad descubra la simplicidad».

REFERENCIAS

- Jonathan Weiner, *Tiempo, amor, memoria*, Galaxia Gutenberg, Barcelona, 2008.
- James Watson, *La doble hélice*, Alianza, Madrid, 2011.
- Sergio E. Baranzini *et al.*, *«Genome, epigenome and RNA sequences of monozygotic twins discordant for multiple sclerosis»*, *Nature* 2010; 464: 1351-1356.

4

NINGUNA DE TUS NEURONAS SABE QUIÉN ERES NI LE IMPORTA

La conciencia emerge como lo hace
la punta de un iceberg.

Parece mentira hasta qué punto una simple decisión puede cambiar el porvenir. A partir de 1959 fui un exiliado político en Ginebra y París un par de años y, luego, ocho más en Londres, donde me ofrecieron trabajo, estudios y afecto. Hacía poco tiempo que Manolo López, abogado laboralista e hijo de panadero, le había recordado a Jorge Semprún —Federico Sánchez por el nombre con que lo conocíamos entonces en la clandestinidad— que «Eduardo seguía preocupado por su vida dedicada de lleno al Partido Comunista en Madrid, sin tiempo para prepararse académicamente para el futuro». La respuesta lógica de Federico Sánchez fue decirle a Manolo López que «Eduardo esperase unos tres años y luego podría estudiar en la universidad soviética que prefiriera».

Los que me conocen recuerdan que nunca dejé de preguntarme quién me llamó por teléfono a la pensión donde residía en Madrid, justo unos instantes antes de que cerrara la puerta, para asistir como miembro del Partido Comunista de España a una reunión del comité de coordinación universitario. Grandes palabras para pequeñas cosas. El mensaje, no obstante, era bien claro: «No vayas a la reunión porque está esperando la policía en la tasca en la que habías quedado». Me dio tiempo a recoger el pasaporte y comprar un billete hasta Burdeos. Desde entonces nunca me he separado del pasaporte, entre las risas y la sorna de amigos que tienen una concepción menos geológica del tiempo que la mía.

Hace cuatro o cinco veranos, en lugar de dedicar parte de mis días de vacaciones en Londres a sumergirme en la lectura de *A Pilgrimage to the Dawn of Life*, de Richard Dawkins, un paquete inesperado me llevó a retroceder cincuenta años. Un amigo asturiano me hizo llegar un ejemplar del libro de Manolo López, a los pocos días de su muerte. Entre los recuerdos de Manolo descubrí realidades que ya sabía: sus ocho años de cárcel y los otros tantos míos de exilio, que no se justifican ni siquiera en un régimen totalitario, por haber echado cuatro octavillas en un partido de fútbol a favor de una supuesta huelga general pacífica o por haber intentado organizar un modesto homenaje a un científico republicano exiliado; no sólo no se justifican,

sino que constituían una arbitrariedad descomunal cuando se piensa en las sesiones de tortura, incluidas las patadas y los golpes en la cabeza de mi amigo Manolo contra la pared, que tan descarnadamente pero sin rencor describe en dichas memorias. Y allí, en esas páginas, identifiqué que aquella voz generosa, cumplidora del deber asumido, protectora de sus fieles y enamorada de su gente, era la suya. Gracias a aquella llamada pude evitar la tortura y la cárcel que en Manolo López hicieron mella para siempre. Lo más insólito es no haberme dado cuenta hasta ahora del sufrimiento que inundaba el camino oscuro del alma que, gracias a su llamada, algunos pudimos evitar.

Liberados de la dictadura, regresé a España en plena transición y por un momento temí que las cosas no hubieran cambiado en absoluto. Encerrados en el hemiciclo del Congreso, el 23 de febrero de 1981, junto a los demás diputados, en plena votación de la investidura de Leopoldo Calvo-Sotelo como candidato a la presidencia del Gobierno, las tropas del teniente coronel Tejero no nos dieron opción a escapar tras irrumpir a tiros en la cámara baja.

El panorama invitaba a largarse de nuevo del país y durante las horas que permanecimos secuestrados en el recinto sólo pude pensar en cuál sería la trayectoria de las próximas balas y en que había elegido un mal momento para regresar. Por suerte, las aguas volvieron a su cauce bien pronto, después de que nos liberaran a la mañana siguiente y el levantamiento acabara siendo un intento fallido de golpe de Estado. De todos modos, sigo sin separarme del pasaporte.

Fuga de cerebros

Mi reacción a la llamada de Manolo López fue rauda. El pasaporte, apenas cuatro trapos en la maleta, una escueta despedida a los familiares más próximos y *au revoire*. Un efímero instante para tan largo exilio. Afirma Gerd Gigerenzer que la mayoría de las decisiones importantes las tomamos por la vía intuitiva. Tardé años en entender lo sucedido en mi cerebro tras esa llamada. Tal vez no cayera en la cuenta de ello antes de conocer a los mejores estudiosos del cerebro. Gigerenzer, director del Instituto Max Planck de Desarrollo Humano, en Berlín, fue de los primeros en revelarme el enorme poder del inconsciente en la toma de decisiones.

Pensad por un instante en los quehaceres cotidianos que realizáis sin prestar atención: salir de la cama, andar, daros una ducha, vestiros, coger las llaves, conducir hasta el trabajo. Seguramente repararéis en el desempeño de estas acciones sólo cuando algo no anda bien, si no encuentras las llaves o si se estropea el calentador,

pero por lo general, a las siete de la mañana, con las arrugas de las sábanas aún marcadas en la propia piel, lo último que se le pasa a alguien por la cabeza es si se está aplicando correctamente el champú. Lo hace y punto. Como si estuviéramos guiados por un piloto automático, nos dejamos llevar sin necesidad de prestar atención y nuestros actos mundanos suelen salir bien.

Quiero que mis nietas, Candela, Violeta, Alexia y Tiziana, no olviden nunca que detrás de cada decisión repentina que toman están mil años de saltos de un horizonte a otro de su inconsciente. Ni Dios sabe todavía cómo puede eso ocurrir. Lo único que sabemos es que ocurre.

Gerd Gigerenzer me dejó claro que de no ser por nuestro cerebro inconsciente deberíamos pensarlo todo y no haríamos nada. Aunque no seamos conscientes de ello, el cerebro no deja de inferir la realidad. Se la pasa haciendo conjeturas, realiza cálculos constantemente a partir de la información que le entra por los sentidos y nos ahorra el trabajo de razonar cuanto hacemos. Pero nuestra máquina de pensar entraña algo aún más fascinante: el cerebro decide por nosotros. Y lo hace bastante bien. Gigerenzer ha constatado que suelen ser más acertadas las decisiones intuitivas respecto a aquellas muy razonadas, cuyos pros y contras hemos valorado con esmero.

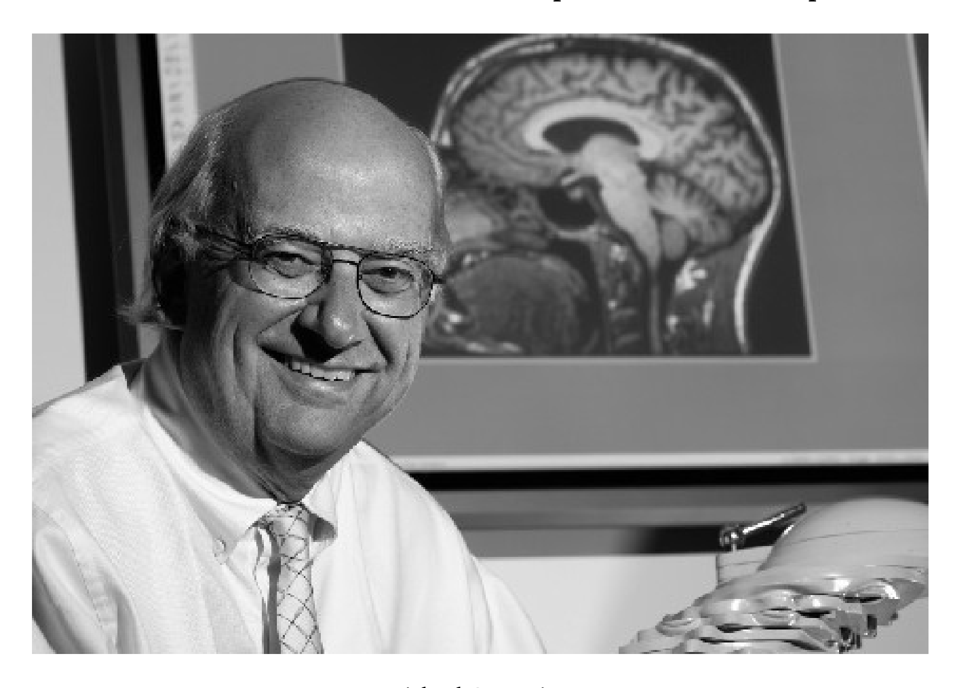
«Eduardo —me dijo una vez—, no te engañes, tomamos mejores decisiones si tenemos en cuenta una buena razón que si contemplamos diez no tan buenas.» Descartar parte de la información es bueno. Según Gigerenzer, las intuiciones son atajos a través de los cuales el cerebro decide más rápida y acertadamente.

El neurocientífico californiano Michael Gazzaniga suele poner un ejemplo bien sencillo de los atajos inconscientes. En la zona del cerebro conocida como *amígdala* es donde se controlan y almacenan las respuestas emocionales. Ante un peligro —un autobús está a punto de arrollarnos, pongamos por caso—, pegamos un salto atrás para salvar el pellejo. El salto es automático; no nos paramos a pensar: «Un autobús cargado de pasajeros a cinco metros de distancia se acerca a cuarenta kilómetros por hora y tengo dos opciones para evitar el atropello: saltar hacia adelante o hacia atrás», ni mucho menos perdemos tiempo en dilucidar cuál es la mejor dirección de nuestro salto. Brincamos sin pensar nada y, por lo general, el resultado suele ser el correcto. Según Gazzaniga, cuando la amígdala detecta un patrón asociado en el pasado con el peligro, manda un impulso directo que activa la señal de alarma y desencadena la respuesta de huida. Intuyo que mi exilio tras la llamada de Manolo López fue una reacción más liderada por la intuición que por el razonamiento lógico. Mi

cerebro inconsciente decidió fugarse. Y mi conciencia se iría con él.

La punta del iceberg

Para Gazzaniga, la conciencia es la punta del iceberg del pensamiento no consciente. El cerebro se compone de 100.000 millones de microprocesadores, las neuronas, distribuidas en un enrevesado entramado de redes y nódulos que lo hacen un órgano sumamente complejo. No obstante, tal y como señala Gazzaniga, no existe un director para tal concierto neuronal. Es como una fábrica con millones de trabajadores que no obedecen a nadie, y eso me lo supo aclarar Daniel Dennett hace una década. Vale la pena recordar su explicación:



Michael Gazzaniga.

«Todo está automatizado, hay toda esa maquinaria pero está vacío, no hay nadie. Hay partes del cerebro que sí actúan como agentes, son los responsables del seguimiento de varias tareas, y, por tanto, si quieres verlo así son como funcionarios, pero no tienen conciencia. El pensamiento lo produces tú, no las partes de que estás compuesto. Pese a los millones y millones de células del cerebro, ni una sola de esas neuronas sabe quién eres, ni tampoco le preocupa. Son demasiado estúpidas para poder ocuparse ellas. Por lo tanto tiene que tratarse de una democracia, estas neuronas tienen que trabajar en equipo y competir las unas con las otras, sin que nadie se ocupe de

ello. Nadie puede ocuparse de ello. Si todavía existe un teoría de la conciencia en la que haya un jefe supremo, sabemos que es una mala teoría».

Aunque vosotras no lo creáis, el cerebro tiene mucho en común con un ecosistema, el clima o el mercado financiero. Los cuatro son ejemplos de sistemas complejos, compuestos por elementos sencillos —neuronas, especies, fenómenos atmosféricos y bienes de consumo, respectivamente— que por sí solos no explican el comportamiento del conjunto. La complejidad en las relaciones entre elementos dota al sistema de una serie de *propiedades emergentes* que son impredecibles. La conciencia sería una propiedad emergente de la actividad de las neuronas individuales. Y en ella existe algo que nos hace sentir jefes supremos de nuestros actos y decisiones. Indudablemente llevamos las riendas de cuanto nos acontece. Eso creemos, pero el mismo Michael Gazzaniga desmontó este mito con un fantástico descubrimiento en los años setenta del siglo pasado.

EL LADO IZQUIERDO DEL CEREBRO ES EL MENOS ARTÍSTICO

El investigador sintió fascinación por desentrañar los efectos de la callosotomía en algunos seres humanos. La callosotomía es una técnica empleada para reducir los ataques epilépticos que consiste en escindir el cuerpo calloso, un haz de fibras neuronales que conecta los dos hemisferios del cerebro. Las primeras operaciones de este tipo que se realizaron en la segunda mitad del siglo XX no dejaron secuelas aparentes entre los pacientes, sólo ventajas, al eliminarse dichos ataques. Entonces Gazzaniga centró su atención en estudiar en profundidad si verdaderamente escindir una zona de contacto tan considerable entre ambos hemisferios carecía de efectos. Con sus trabajos constató que los pacientes callosotomizados no mostraban problemas de coordinación cerebral, pero descubrió en cambio una disrupción absoluta de la transferencia de información entre hemisferios. Expuso a los pacientes a estímulos visuales, distintos para cada ojo. Las imágenes percibidas por el ojo derecho son procesadas en el hemisferio cerebral izquierdo y viceversa. En sus pruebas con pacientes cuyo cuerpo calloso había sido escindido, Gazzaniga comprobó que los hemisferios de estas personas no compartían información entre sí. Eso le abrió muchas posibilidades para investigar las funciones específicas de cada hemisferio. Gracias a él, hoy sabemos que la mitad derecha de nuestro cerebro, la más *artística*, está implicada en el reconocimiento facial, ciertos aspectos de la percepción o el procesado musical, mientras que la izquierda es la más

intelectual, donde se coordinan el habla, el lenguaje y la conducta inteligente. Pero aún más sorprendente fue otro hallazgo derivado de estos estudios.

Con sus experimentos, Gazzaniga identificó una zona del hemisferio izquierdo que denominó *el intérprete*. Se trata de un módulo neuronal que tiene la función de interpretar el entorno y las acciones propias. Justifica cuanto hacemos. Charlatán incansable, el intérprete busca explicación a todo tipo de situaciones y lo hace a partir de la información que le llega de otros módulos del cerebro. Si tal información es correcta, el intérprete proporcionará argumentos razonables, pero si es incorrecta probablemente no callará, insistirá en dar alguna explicación y ésta no será necesariamente disparatada.

Esto mismo constató Gazzaniga en voluntarios con el cuerpo calloso seccionado. Ante cada uno de sus ojos expuso imágenes distintas, cada una de las cuales sería procesada en el área visual del hemisferio opuesto al ojo que percibe el estímulo. Comprobó que la información de cada hemisferio no se compartía con el otro al no haber conexión a través del cuerpo calloso, y ante preguntas sobre imágenes procesadas en el lado derecho del cerebro el sujeto justificaba su respuesta mediante su hemisferio izquierdo (donde se coordinan el habla y el lenguaje, como hemos visto) con explicaciones inconsistentes aunque verosímiles. El intérprete justificaba una respuesta inconsciente, a cuya información, procesada en el hemisferio derecho, el lado izquierdo del cerebro no tenía acceso.

Las decisiones son inconscientes, lo hemos visto. Para Gazzaniga, un 98 por ciento de ellas. El dato es sorprendente, pero retened el aliento, porque resulta que, además, las decisiones están basadas en buena parte en ilusiones y en una memoria hasta cierto punto irreal, y el artífice de todo esto, según mi amigo californiano, es el intérprete. Psicólogos y neurólogos como Daniel Schacter, Joaquín Fuster o Martin Conway nos han enseñado que los recuerdos son una mezcla de realidad e inferencia —o si se prefiere, ficción— y que recurrimos a ellos para crear nuestra identidad.

Hay algo de mi niñez que recuerdo como si fuera hoy mismo. Tendría yo dos o tres años y mi madre me llevaba de la mano a toda prisa por la estación de Sants de Barcelona. En plena guerra civil, las bombas caían a decenas, y nosotros corríamos a la búsqueda de un refugio. Mi madre tiraba de mi mano, tuvimos que sortear una viga caída y evitar que la avalancha humana me aplastara por accidente. Es uno de los recuerdos de infancia más vívidos que conservo, y nunca caí en preguntarle a mi madre si eso sucedió realmente así. Tal vez ese vívido recuerdo lo inventara yo mismo a partir de alguna explicación

de mi madre o de alguna foto que vi en su momento. En cualquier caso, la historia que les acabo de contar seguramente fue narrada por el intérprete de mi cerebro a partir de los datos que tiene a su alcance: algún recuerdo real, historias contadas por mi madre, alguna foto que vi en su día o cualquier otro dato almacenado en mi cerebro no consciente. El intérprete nos da seguridad en lo que decimos, recordamos, pensamos. Y Gazzaniga añade que de dicho módulo surge esa sensación de unidad psicológica que experimentamos los humanos, ese sentimiento de mente unificada pese a estar el cerebro compuesto por millones de neuronas, múltiples redes, subredes y módulos aparentemente autónomos. En otras palabras, el intérprete es el creador de la ilusión del *yo*.

El poder del inconsciente y la inventiva del intérprete ponen en entredicho el concepto de libre albedrío, al menos en lo que atañe a la toma de decisiones. ¿Tenemos verdaderamente libertad de acción? Según uno de los expertos en el estudio del inconsciente, John Dylan-Haynes, la ciencia todavía no ha reunido evidencias suficientes para descartar definitivamente la existencia del libre albedrío, pero este concepto no goza de su mejor momento, pues los descubrimientos recientes lo están haciendo cada vez más inverosímil. Uno puede creer que es libre porque se ve capaz de pasar por encima de lo que sucede fuera de su propio cuerpo. Éste sería un concepto de libre albedrío de cariz social, un punto de vista que Dylan-Haynes reconoce no poder descartar. No obstante, hay otro modo de valorar este concepto y muchos neurocientíficos, desde que han empezado a constatar que el cerebro decide por nosotros y que se anticipa a la conciencia, opinan que el libre albedrío deja de ser lo que era: «Lo que descartamos es una idea muy simple acerca del libre albedrío entendido como una intuición de que podemos empezar a cambiar el mundo independientemente de la historia del cerebro, de la historia del universo, y cambiar la manera en la que el mundo va a continuar. Eso es erróneo».

Siempre creí haber hecho lo correcto al largarme del país gracias a la alerta de Manolo López. Según Tali Sharot, psicóloga israelí afincada en Londres, el sentimiento de haber tomado la decisión correcta no es más que una ilusión, la denominada *ilusión introspectiva,* gracias a la cual tendemos a pensar que los motivos ante cualquier decisión son fundados. Daremos con muchas razones lógicas —las podéis llamar excusas si lo preferís— para creer y justificar que la elección tomada fue la mejor. Hemos visto en el primer capítulo de esta parte que podemos cambiar de opinión. Hacedlo y no padezcáis, el intérprete os contará la mejor historia para convenceros de haber

obrado adecuadamente. Como decía, hice bien en marcharme a Francia hace medio siglo. Salvé el pellejo, esquivé la cárcel, pude proseguir mi carrera, fui libre de elegir una nueva vida... Y no lo digo yo, lo dice mi intérprete.

Referencias

- Gerd Gigerenzer, *Decisiones instintivas*, Ariel, Barcelona, 2008.
- Michael Gazzaniga, *¿Quién manda aquí*?, Paidós, Barcelona, 2012.
- Tali Sharot, *The Optimism Bias*, Vintage, Nueva York, 2012.

SEGUNDA PARTE

EL MUNDO QUE VIENE

5

LA PRIMERA PERSONA QUE VIVIRÁ 150 AÑOS PROBABLEMENTE YA HA NACIDO

Hasta ahora hemos conservado;
con la genética crearemos el mundo
que nos conviene.

Nos cuesta horrores imaginar el futuro. Tanto que no sabemos hacerlo sin mirar atrás, hacia el pasado. Muchos, la mayoría de nuestros tatarabuelos, se habrían equivocado si se les hubiera pedido que sugirieran pautas del porvenir. En primer lugar, habrían estado convencidos de que ya se había inventado todo; que el mundo del futuro ya lo tenían entre las manos. Al contemplar los aviones o los *smartphones* de hoy, se quedarían petrificados por la sorpresa. ¡Cómo pudieron equivocarse tanto! Ésa es la verdadera pregunta referida al pasado.

Una de las calles en el pueblo de mi infancia se llama Calle que No Pasa. ¿Por qué la llamaron así? Estaba claro, no tenía salida, no tenía futuro. Ese estrecho, tortuoso y empinado callejón conduce a uno de los puntos más elevados de la Vilella Baixa y a su fin las últimas dos casas no están a un lado y a otro, como las demás, sino de frente, tapando el futuro excavado en la montaña. Cuando jugábamos al aquí te pillo, aquí te mato, quien se metía en la Calle que No Pasa, en plena persecución, estaba perdido. Era un *cul-de-sac*. Y definitivamente nada cambia. Hoy, la calle sigue igual que en mi niñez. Tal vez ha cambiado el geranio de algún alféizar, rojo en el pasado, amarillo hoy, pero poco más. No pasa, permanece congelada en el tiempo. Sin salida y sin futuro.

Afortunadamente, existe gente empeñada en buscar más allá de los límites, en escudriñar lo inexplorado y acercarse a nuevos horizontes. Si hasta ahora hemos visto algunos aspectos insospechados propios del ser humano, voy a dedicar un nuevo capítulo de esta *Carta a mis nietas* a avanzaros hacia dónde se dirige nuestra especie. Lo primero que cabe destacar es que no tenemos ni idea de cuál es su destino. Y no me estoy refiriendo a un porvenir remoto, sino a los próximos sesenta o setenta años, esto es, al futuro cercano que vivirán las hijas de mis hijas. Como las dos casas obstruyendo lo alto de la Calle que No Pasa, existen muchos obstáculos que nos dificultan atisbar el destino de la humanidad.

En medio siglo pueden suceder infinidad de hechos inesperados o

puede no pasar nada. La ciencia-ficción clásica especulaba con un futuro repleto de vehículos voladores y viajes intergalácticos, pero muy pocos autores anticiparon un sistema informático capaz de mantener conectada a la humanidad y ofrecer la posibilidad de compartir toda información, imagen o vídeo con total inmediatez entre cualquier lugar del mundo y sus antípodas. Antes de Internet y del acelerado progreso de la computación, nadie —o casi nadie— imaginaba su trascendencia. Hoy, apenas veinte años después de su popularización, cuesta imaginar el pasado sin la red. Pero la revolución digital no va sola; hace dos capítulos he empezado a introducir otra revolución que, aunque no lo creáis, estamos viviendo: la biológica.

CARBONO *VS* SILICIO

Gregory Stock es un biofísico, empresario de la biotecnología y, por encima de todo, un gran optimista. Coincidí con él hace unos años en un congreso en Barcelona y allí me dejó ver claramente el momento único que estamos viviendo. Uno de los mejores demógrafos actuales, James Vaupel, me aseguró que la esperanza de vida de los países desarrollados no para de crecer y que lo hace a una tasa de 2,5 años por década. Incluso me llegó a afirmar que la mayoría de los niños nacidos tras el año 2000 en estos países llegarán a cumplir cien años en el siglo xxii. Pues bien, Gregory Stock matiza esta predicción y asegura que el primer humano que alcance a vivir 150 años seguramente ha nacido ya. ¿En qué se basa para lanzar tal aseveración?

Stock lleva años oteando el horizonte, anticipando hacia dónde nos van a llevar los avances de la biotecnología, y afirma que ahora está sucediendo algo muy profundo y por partida doble: estamos viviendo las dos revoluciones mencionadas, la digital y la biológica. Él las denomina la revolución del silicio, el principal elemento de la materia mineral, inerte; y la del carbono, el elemento de la materia orgánica, la de los seres vivos. No existe una sin la otra. «Estamos en un momento de transición, y no solamente es un momento de transición en la historia de la humanidad, sino en la historia de la vida. Empezamos a comprendernos tan minuciosamente que comenzamos a controlar los procesos de la vida y a controlar nuestro propio futuro evolutivo.»

Para él, los descubrimientos biológicos serán los más relevantes, y asegura que la próxima frontera no la encontraremos con el estudio de cuanto nos rodea o en la exploración del remoto espacio exterior, sino

en nosotros mismos. El próximo será un viaje hacia nuestro interior. Voy a poneros algunos ejemplos de esta odisea.

Doctores microscópicos

Me gustaría empezar por el fantástico trabajo de Fátima Bosch, bióloga y una de las principales expertas en terapia génica de nuestro país. Entre sus líneas de investigación figura el desarrollo de un tratamiento para combatir una enfermedad tan desconocida como letal, el síndrome de Sanfilippo. Esta dolencia se clasifica dentro de un conjunto de enfermedades minoritarias, las mucopolisacaridosis —lo sé, es difícil de leer—, causadas por la ausencia de una proteína (una enzima) o la presencia de una variante defectuosa de ésta. Las mucopolisacaridosis tienen un origen genético y se manifiestan en los primeros años de vida de los niños con este gen conflictivo. Con el tiempo, los pacientes muestran dificultades en el habla, alteraciones del comportamiento, se acentúa el retraso mental, la discapacidad motora… El progreso de la enfermedad es imparable y el único tratamiento es paliativo, hasta que al final estos jóvenes acaban muriendo.

Gracias a las técnicas de secuenciación sabemos cuál es el gen causante del Sanfilippo, un gen con las instrucciones de una enzima defectuosa. Fátima Bosch está desarrollando un tratamiento que consiste en atacar los tejidos de los pacientes con *virus* cargados con el gen correcto. Sí, habéis leído bien: con virus. Los virus son como parásitos de las células. Se meten en su interior e insertan su ADN para que la célula huésped fabrique, con su propia maquinaria, nuevos virus y se extienda la infección. Pero en el caso de la terapia génica, científicos como Fátima Bosch introducen un gen deseado dentro de virus no perjudiciales que actúan como un mensajero con buenas noticias.

Los virus modificados entregan la información correcta (el gen funcional) a sus destinatarios (las células con el gen anómalo) para que fabriquen el producto adecuado (la enzima correcta) a partir de las nuevas instrucciones. En el caso de la terapia génica, en lugar de la infección lo que se extiende es el remedio, y el equipo de Bosch lo está consiguiendo. En animales, han hecho llegar estos virus terapéuticos a tejidos como el músculo, el hígado y el cerebro en animales, y éstos han corregido el problema. Las células reparadas con el nuevo gen fabrican la enzima funcional y la enfermedad ha revertido. Ahora están tratando de conseguir que este tratamiento, efectivo en animales de laboratorio, llegue a aplicarse en humanos.

El equipo de Luis Serrano todavía va un poco más allá. Intenta crear bacterias equipadas con un kit de reparación, con el objetivo de conseguir que, como si fuera un verdadero doctor en miniatura, realice un chequeo de la célula y, en función del diagnóstico, proceda a repararla o no. Para conseguirlo, la bacteria deberá introducirse en la célula, medir su estado y, si opta por curarla, producir una droga inteligente.

A diferencia de la terapia génica, prometedora para atacar una enfermedad concreta como el Sanfilippo con la inserción de uno o pocos genes mediante virus, la bacteria-doctor de Serrano lleva muchos más genes, decenas. Eso tiene mayor complejidad, pero por otro lado puede conducir a terapias mucho más dirigidas que vayan a curar únicamente las células enfermas, por ejemplo, las tumorales. Si bien la terapia génica puede dirigirse en cierto modo a un órgano concreto, una vez en el tejido diana los virus no seleccionan en qué células van a introducir su gen. Lo hacen a ciegas. Los organismos que está diseñando Serrano, en cambio, sólo repararían las células con problemas tras hacer ese diagnóstico. Se trataría de una terapia mucho más dirigida.

Curar con células

Otro gran salto de la biología lo encontramos en la investigación con células madre. Todas las células de una persona contienen una copia de su genoma. No obstante, una neurona no se parece en nada a un glóbulo rojo. Durante el desarrollo de cualquier ser vivo a partir de un embrión inicial, las células se diferencian unas de otras según cual sea su tejido de destino. De ese embrión se forman hepatocitos (células del hígado), enterocitos (intestino), neuronas (sistema nervioso), glóbulos rojos y blancos (sangre), condrocitos (tejido conjuntivo), queratinocitos (piel), etcétera. El inventario es amplio y todo surge de ese embrión compuesto por células indiferenciadas y pluripotentes, capaces de dar lugar a cualquier tejido. Son las denominadas *células madre embrionarias*. Diferenciarse significa perder esa pluripotencia, y un hepatocito, por ejemplo, sólo se divide para dar lugar a nuevos hepatocitos. Poder controlar el desarrollo de estas células para obtener los tejidos deseados abre un enorme abanico de posibilidades en campos como la medicina regenerativa, la inmunología o la misma terapia génica, pero los primeros trabajos con células madre embrionarias, hacia 2001, dieron resultados poco esperanzadores, pues al implantarlas en animales de laboratorio formaban tumores en todos los casos. Parece que esas células estaban programadas para

crecer muy bien en el útero, mas no en un laboratorio. Al sacarlas de su entorno natural enloquecían y perdían el control. Había factores que escapaban a los científicos.

Pocos años después se descubrió que en varias zonas del cuerpo de cualquier persona, como la médula ósea, existen células madre. A éstas se las llamó *células madre adultas*, y, a diferencia de las embrionarias, no formaban tumores ni daban problemas de rechazo entre individuos, pues se podían sacar del mismo paciente objeto de la terapia. Pero el salto rompedor lo dio en 2006 el japonés Shinya Yamanaka, al demostrar que a partir de cualquier célula del individuo adulto, y sólo con tocar cuatro genes, se podía inducir a esa célula a volver a tener las características de cuando era un embrión. A éstas se las conoce como *células pluripotentes inducidas*. Su hallazgo tuvo tal relevancia que el investigador ganó el premio Nobel en el año 2012.

FÁRMACOS A LA CARTA

Si el Sanfilippo se debe a un solo gen mutado, en el otro extremo tenemos el cáncer, una enfermedad muy compleja causada por muchos factores genéticos y ambientales, como nuestros hábitos de vida. Hoy el reto es dar con fármacos y tratamientos que se adapten a las circunstancias exactas de la enfermedad en particular, pues cada cáncer es un mundo. Manel Esteller, de quien he hablado dos capítulos atrás, los llama *fármacos a la carta*, en contraposición a la quimioterapia clásica, inespecífica, poco dirigida y que arrasa con todo. Él mismo me explicó una vez que la primera sustancia empleada en quimioterapia para combatir el cáncer fue, ni más ni menos, el gas mostaza, un arma química sintetizada para su uso en la primera guerra mundial. La exposición a ese gas tremendamente irritante produce grandes ampollas en la piel y en los pulmones, y puede causar la muerte por asfixia. En todas las guerras pagan justos por pecadores, pero las nuevas tecnologías, como el GPS, los drones o la teledetección, permiten programar ataques cada vez más selectivos sin poner en riesgo a la población civil. En la lucha contra el cáncer sucede exactamente lo mismo. Es una guerra para acabar con células enemigas y la quimioterapia inespecífica lo hace a costa de células aliadas, sanas, del mismo modo que un bombardeo, cuando tiene lugar en una ciudad, mata a miles de personas inocentes.

Empieza a ser posible pensar en nuevos fármacos que sólo actúen contra las células tumorales y dejen intactas a sus vecinas sanas. Me refiero a terapias como la bacteria-doctor de Luis Serrano o la *farmacogenómica*, fármacos basados en el ADN de las personas. Otros

tratamientos tienen en cuenta la epigenética de cada uno. Una célula tumoral lee las instrucciones erróneas y se desmadra, huye del sitio que tiene asignado, causa estragos en los tejidos e invade células vecinas. Pues bien, los *fármacos epigenéticos* reprograman estas células malignas mediante la eliminación de los grupos metilo de su ADN que mantienen los genes adecuados silenciados e impiden su expresión. Para entendernos, si la terapia génica puede corregir el manual de instrucciones de las células, los fármacos epigenéticos corrigen la lectura de ese manual. En las células reparadas, los genes que impiden el crecimiento tumoral se manifiestan y el cáncer podría remitir. Estas terapias aún están en pañales, pero prometen y avanzan deprisa. Ya lo veréis.

El ordenador del futuro

Hemos visto que desvelar los genomas de los seres vivos no es suficiente, existen muchos otros factores aún demasiado escurridizos, pero hay algo que sí nos ha quedado muy claro: para comprender la biología debemos considerar a cada organismo como una red, un sistema de procesos interconectados que dan lugar a la vida. El estudio de todos los procesos desde esta perspectiva integradora es el objetivo de la denominada *biología de sistemas*, y tal disciplina es irremediablemente multidisciplinar.

Mi amigo de IBM Ajay Royyuru se define como biólogo computacional. Al principio me pregunté qué diablos significaría eso, pero Royyuru enseguida me supo aclarar que hoy el nuevo paradigma de la biología de sistemas es inimaginable sin el soporte de la informática. No somos capaces, por nosotros mismos, de digerir la ingente cantidad de información que estamos generando a diario, y menos aún de comprender las infinitas relaciones y procesos de la biología. Eso me lo advirtió Luis Serrano incluso antes de conocer a Royyuru: «Eduardo, como no echemos mano de algo como la informática, ni el cerebro puede entender esta complejidad».

Desde su nacimiento, la computación ha acelerado sin cesar. Uno de los fundadores de la empresa de microprocesadores Intel, Gordon Moore, predijo en la segunda mitad del siglo pasado que el número de transistores integrados en los ordenadores se duplicaría cada dos años. Y acertó. Lo que hoy se conoce como Ley de Moore da una idea del progreso de la capacidad de computación, y esa potencia creciente es una de los artífices de la revolución del silicio. Ahora no sólo tenemos ordenadores más potentes que nunca sino que, además, juntamos a miles y miles de ellos para que trabajen como uno solo, un

superordenador capaz de realizar complejísimos análisis, predicciones y simulaciones, y procesar el *big data*, toda la cantidad inimaginable de información que estamos generando.

Hablé sobre computación con Juan Ignacio Cirac, físico cuántico, uno de los mejores de nuestro país. Afirma Cirac que a los ordenadores actuales, basados en el bit, la información que transmiten los electrones, les quedan pocos años para seguir mejorando. En quince o veinte años, vaticina, habremos alcanzado el límite de potencia. Hacer más pequeños los procesadores, los transistores y demás dispositivos implicados en la capacidad de cálculo de los ordenadores es la clave del aumento de la potencia. La idea es sencilla: reducir su tamaño permite almacenar y procesar información en menos espacio y, a su vez, meter más unidades en la misma unidad de superficie. Pero no podemos hacer algo infinitamente pequeño. Según Cirac, cuando podamos almacenar los bits de información en un solo átomo llegaremos al límite. ¿Será eso un problema? Al contrario, para él supone una ventaja: «Al llegar al límite del átomo, las leyes de la naturaleza cambian. Las leyes de la física cuántica se ponen en marcha y nos permiten hacer cosas extraordinarias, cosas que parecen más bien sacadas de una película de ciencia-ficción. Estamos estudiando cómo aprovechar la física cuántica no sólo para poder seguir haciendo que los ordenadores vayan más rápido, sino para que vayan *muchísimo* más rápido y se puedan hacer cálculos que de otra forma serían imposibles».

La revolución de las tecnologías de la información y la comunicación, las TIC, no se puede concebir sin la teoría de la información, publicada por Claude Shannon y Warren Weaver en 1949. La teoría surge de la necesidad de transmitir datos de un modo eficaz, rápido y seguro. Para ello, ambos matemáticos desarrollaron una metodología que permite medir la cantidad de información contenida en cualquier mensaje. La información se convirtió entonces en magnitud física y como tal gozaría de una unidad fundamental para medirla: el *bit*. Se trata de una unidad que ofrece dos alternativas contrapuestas: uno-cero, sí-no, verdadero-falso, presenciaausencia, lleno-vacío, o como un interruptor, *on-off*. Hasta la fecha, los ordenadores, los teléfonos, el control remoto del televisor…, todo transmite la información en bits. Inundan nuestro día a día hasta tal punto que hoy, el 98 por ciento de la información que se transmite ya no es en español, francés, inglés, alemán, sino en unos y ceros. El sistema binario es el lenguaje más universal, según Juan Enríquez, otro visionario experto en biotecnología de la altura de Gregory Stock.

El ordenador del futuro es cuántico, y eso significa que para

transmitir información no utilizará el bit, sino otra unidad: el *qubit*. Las máquinas que se acercan echarán mano de las propiedades de la física cuántica. El qubit puede tener una superposición de los dos valores posibles del bit, ser un cero y un uno simultáneamente. Un bit puede estar en dos estados: 0 o 1; dos bits, en cuatro estados distintos: 00, 11, 01 o 10; tres bits, en ocho estados, y así progresivamente. Con sólo 32 bits se obtienen miles de millones de estados. Pues bien, un ordenador cuántico, cuya información se transmite en qubits, puede estar en todos esos estados simultáneamente. Cuando ello se consiga, la capacidad de computación dará un salto sin precedentes. Según Cirac, un solo ordenador cuántico equivaldrá a millones y millones y millones de ordenadores actuales a la vez.

Los físicos cuánticos están ahora aprendiendo a domesticar los átomos, las moléculas, los fotones... Aún están dando los primeros pasos, pero cuando lleguen a dominar todas estas partículas fundamentales puede que se desencadene una nueva revolución: la revolución cuántica.

Ni uno ni otro: los dos

Le pregunté a Gregory Stock cuál de ambas revoluciones, la del silicio o la del carbono, marcará el futuro. Sin vacilar eligió el carbono, pero yo sigo teniendo mis dudas. La tecnología tiene tanto trecho por delante como la biología. El ordenador cuántico es una muestra de lo que se avecina gracias a la tecnología, pero hay muchas más. La ciencia de los materiales, la fusión nuclear como fuente de energía limpia, eficiente e inagotable, o la nanotecnología plantean un sinfín de posibilidades que todavía no somos capaces ni de imaginar. Cuesta decantarse por una u otra revolución, pero, por si eso fuera poco, el silicio y el carbono se están fusionando. Quizá el futuro esté en la unión de ambas revoluciones. Incluso puede que algún día esta interacción acabe dando lugar a una nueva especie del género *Homo*. Al menos así lo especulan algunos.

Y la tecnología hizo al *Homo evolutis*

Hacemos un uso externo de los ordenadores. ¿Por qué no dar un paso más y conectarnos directamente con ellos? Me lo planteó Kevin Warwick, catedrático de Cibernética de la Universidad de Reading, en 2010. Conocido en algunos círculos como Capitán Ciborg, este ingeniero británico destacó a finales del siglo pasado por experimentos en los que se implantaron microchips en su sistema nervioso y con los

que consiguió cerrar puertas, encender luces y regular la calefacción sólo con el pensamiento; se conectó con su esposa y se comunicó con ella a distancia vía morse, sin necesidad de hablar; llegó a introducir en su propio brazo un dispositivo con el que controló los movimientos de una mano robótica e incluso, afirma, percibió su tacto.

Nos vimos en su laboratorio, donde realiza experimentos tanto o más asombrosos que los que acabo de describir. Allí me mostró uno que me dejó sin palabras. Su equipo cultiva células nerviosas de ratón y las conecta a electrodos que transmiten los impulsos eléctricos. Son como minicerebros sintéticos de ratón compuestos por unas 100.000 neuronas que los científicos miman más que a cualquier hijo: velan para que no les falte de nada, las alimentan, las mantienen a una temperatura constante de 37 grados. Diariamente, conectan estos cerebros a unos pequeños robots cargados de sensores y durante un rato los dejan desempeñar funciones bien simples, como esquivar las paredes de una superficie. El equipo de Warwick ha observado como, de forma progresiva, el robot cada vez choca menos con esos muros. De un día para el otro, el cerebro —hecho con células verdaderas, insisto— aprende a prevenir los choques gracias a la información procedente de los sensores. Por si eso fuera poco, las neuronas se reparten las tareas: unas se especializan en recibir impulsos de dichos sensores, otras hacen que el robot esquive la pared y el resto coordina a las anteriores. Como un cerebro de verdad, se diferencian entre neuronas sensoriales, motoras e intermedias, respectivamente.

Kevin Warwick.

¿Os dais cuenta? En esencia, está sucediendo lo mismo que con la bacteria sintética que creó Craig Venter. A una célula sin ADN, a una carcasa celular, se le introdujo el genoma de otra especie que tomó las riendas de su huésped. El experimento de Warwick es parecido. Se introduce un cerebro en un chasis robótico y el primero toma el control del aparato. ¡Y encima aprende! Estaban reproduciendo la plasticidad neuronal in vitro. «Podemos hacer que el robot se desplace gracias al cerebro biológico y ver cómo cambia la conexión cerebral simplemente por repetición. Ya sabes, cuando haces algo repetidas veces y sientes que se automatiza, dejas de pensar en ello. De hecho, podemos ver las vías entre las células cerebrales, que se refuerzan a medida que el robot se mueve y hace lo que queremos que haga: básicamente que no se golpee contra la pared.»

La interacción cerebro-máquina es posible. Modificar nuestro genoma y epigenoma es posible. Lo es también dirigir el desarrollo de las células, diseñar fármacos específicos para cada persona, alcanzar una capacidad casi ilimitada de computación y simular el mundo real.

Sólo falta ahora afinar los métodos, integrar conceptos y ampliar el conocimiento para que nada se nos escape, tarea complicada dado que cada pregunta que respondemos plantea una decena de nuevos enigmas.

Pero lo importante es que todo progresa. A diferencia de la Calle que No Pasa, el avance del conocimiento es imparable, y, según Gregory Stock, la evolución no sólo afecta a las especies sino al propio concepto evolutivo. La evolución evoluciona y, para él, nos encontramos en un momento de transición cuya importancia se equipara a la del salto hacia la multicelularidad, hace seiscientos millones de años. Nos estamos uniendo como organismos, como entidades, impulsados por la tecnología y por nuestras mentes, para formar una estructura mayor, de escala planetaria, con un enorme potencial. Pese a los dilemas éticos y demás controversias que suscitan todos estos avances, Stock cree que en absoluto nos precipitamos hacia un abismo, sino que nos adentramos en una transición llena de retos y dificultades como nunca la ha habido. Juan Enríquez coincide plenamente con Stock. Cuando me lo encontré en Puebla, México, me reveló lo siguiente: «Pienso, Eduardo que estamos pasando de ser un *Homo sapiens*, una especie humana consciente de su entorno, a un *Homo evolutis*, un humano que empieza, directa y deliberadamente, a hacer ingeniería y a cambiar la evolución de virus, de bacterias, de vegetales, de plantas, de animales y de nosotros mismos. Y eso es un cambio cualitativo. El *Homo evolutis* es un animal que modifica de manera fundamental el mundo de Darwin».

Lejos de estancarla, la ciencia y la tecnología están acelerando la evolución, según lo que cuentan observadores como Stock y Enríquez. Estamos todavía en la cuna de este progreso, pero reflexionad lo siguiente: hemos cambiado sustancialmente el entorno. Hemos transformado de arriba abajo la faz de la Tierra, para bien y para mal, y a eso deben adaptarse las especies que en ella habitan. No tienen más opción. Muchas han fracasado en su intento y lamentablemente se han extinguido. Los motivos son varios, pero permitidme destacar el factor temporal como factor limitante. Les ha faltado tiempo para amoldarse al nuevo entorno. Transformar el mundo en dos o tres siglos puede parecer una eternidad a ojos de cualquier hombre o mujer, pero es un período ínfimo en la historia de la vida, de 3.500 millones de años. La maratón de cambios en la que estamos embarcando a la Tierra es veloz y súbita, y eso tiene sus impactos. En el próximo capítulo veremos algunos.

REFERENCIAS

- Viktor Mayer-Schönberger, Kenneth Cukier, *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*, Houghton Mifflin, Londres, 2013.
- Gregory Stock, *Redesigning Humans: Our Inevitable Genetic Future*, Mariner, Nueva York, 2003.
- Juan Enríquez, *As the Future Catches You*, Three Rivers, Nueva York, 2005.
- Kevin Warwick, *I Cyborg*, Century, Londres, 2002.
- Charles Seife, *Descodificando el universo*, Ellago, Castellón, 2009.
- Vlatko Vedral, *Decoding Reality: The universe as Quantum Information*, Oxford University Press, Oxford, 2012.

6

LA TIERRA ES UNA SEÑORA ENTRADA EN AÑOS

Claro que hay futuro: ahora tenemos
el poder de dibujarlo.

Frente a mi mesa de trabajo hay tres cuadros del pintor Vives, amigo de mi padre que lo precedió en el adiós a los que nos quedábamos. Dos de los cuadros reproducen las playas de los Lliris y de los Capellans, en Salou, cuando sólo había agua salada, dulce arena y matorrales verdes. Mientras viví allí con mi familia, ni nosotros ni ninguno de los habitantes del pueblecito costero sospechábamos la que se avecinaba. Junto a las pinturas de Vives se encuentra un cuadro bellísimo de la Vilella Baixa, obra del mismo artista. Si bien la Vilella conserva más o menos la fisonomía de antaño, la plasmada por Vives en el lienzo en la década de los sesenta, los *salouencs* fueron testigos de una frenética proliferación de apartamentos, hoteles y discotecas, amenazada por la incursión de hordas bárbaras, a diferencia de siglos pasados, cuando los forasteros venían en aparente son de paz. La localidad costera de Salou mutó y no fue la única. En esos años, España pareció volverse loca. El subidón turístico de esa época estuvo acompañado por la aparición a lo ancho de todo el territorio de fábricas, presas, plantas térmicas y centrales nucleares. Surgían como setas. Recuerdo que en Vilaseca los Reyes Magos me trajeron mi primera bicicleta. Era azul y en ella surcaba los caminos de tierra y exploraba el mundo, mi mundo de entonces. Un par de décadas después las procesiones de seiscientos pondrían en riesgo el pellejo de cualquier mocoso que se atreviera a pisar el asfalto con su bici. Empezaba el milagro económico español, una de las dos grandes ilusiones heredadas de la dictadura —la otra es la Transición Democrática, un proceso inconcluso cuyas secuelas aún padecemos hoy—, que transformó por completo la imagen del territorio.

De Salou a Hawái

Mientras, al otro lado del mundo, algo se gestaba. En el remoto —y también turístico— archipiélago de Hawái, a un químico llamado Charles David Keeling le dio por ponerse a medir la concentración de dióxido de carbono de la atmósfera. Empezó a realizar esas mediciones en 1958 en el Observatorio de Mauna Loa, situado a casi

3.400 metros de altitud en la ladera del volcán homónimo, en la misma isla de Hawái. Su ubicación, en medio del océano Pacífico y a miles de kilómetros de todo continente, mantiene dicho observatorio alejado de las fuentes de contaminación de las grandes ciudades y regiones industriales, y eso permite medir variables atmosféricas de modo fiable y poco sesgado. Transcurridos algunos años, Keeling observó con gran sorpresa un patrón muy regular en la concentración de dióxido de carbono. Y era un patrón doble.

Primero comprobó que la cantidad de ese gas en la atmósfera oscilaba a lo largo del año. Aumentaba hasta el mes de abril, a partir de ahí descendía hasta octubre y luego remontaba de nuevo hasta el siguiente abril. De un año al otro, la concentración trazaba un vaivén perfecto que mostraba, además, una tendencia al alza. Ése era el segundo patrón: un aumento sostenido y constante del valor promedio de dióxido de carbono de cada año. Es decir, que en años sucesivos, al margen de ese sube y baja, la concentración del gas aumentaba. Y lo sigue haciendo aún hoy. Si al principio de las mediciones el dióxido de carbono estaba en una concentración cercana a las 300 partes por millón, en la actualidad este valor ha excedido ya las 400. Sólo en medio siglo y un poco más.

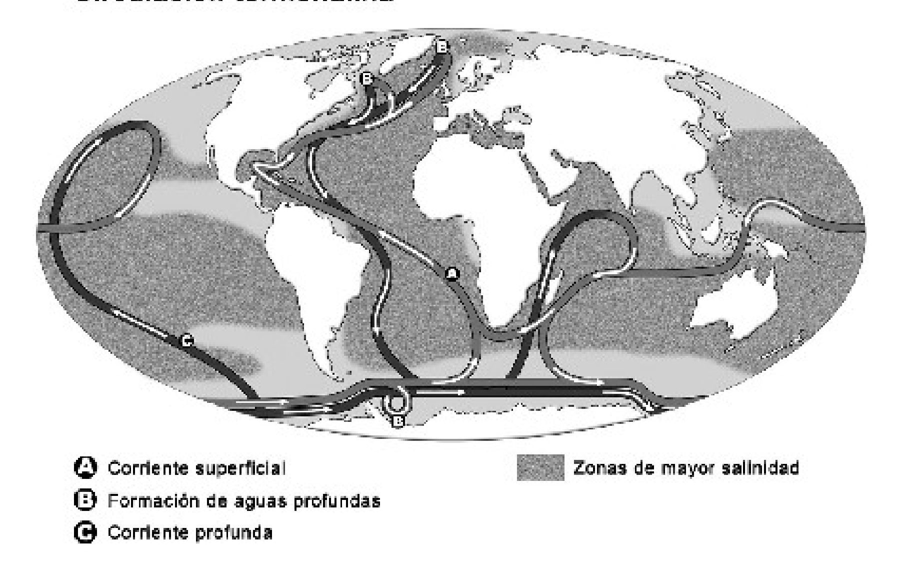
Las ondas de la hoy conocida como curva de Keeling reflejan la fotosíntesis y la respiración de la cubierta vegetal del planeta. Las plantas respiran. Eso significa que liberan dióxido de carbono a la atmósfera como producto de su metabolismo y lo hacen durante todo el año. Nosotros también respiramos y exhalamos ese gas, pero las plantas hacen algo que los humanos no podemos hacer: la fotosíntesis. En este proceso, retiran dióxido de carbono de la atmósfera para fabricar materia orgánica, y eso lo realizan durante los meses cálidos. Al haber mucha mayor superficie de bosques y vegetación en el hemisferio norte, durante los meses cálidos en esta mitad del mundo las plantas consumen una cantidad mayor de dióxido de carbono que en el hemisferio sur, y eso se refleja en el descenso observado entre abril y octubre. En cambio, durante los meses cálidos del hemisferio sur, las plantas del norte paran la fotosíntesis, aunque la respiración sigue, y devuelven dióxido de carbono a la atmósfera en mayor cantidad que la que llegan a asimilar las de la otra mitad del planeta. En consecuencia, la concentración en la atmósfera aumenta. Así, las ondas de la curva de Keeling se deben a un inspira-respira de la Tierra en un proceso natural.

El británico James Lovelock equipara la biosfera —el conjunto de seres vivos del planeta y sus hábitats— a un gran superorganismo al que denomina Gaia, en alusión a la diosa griega de la Tierra. Según su

hipótesis, la propia vida regula las condiciones ambientales para perpetuarse. Pues bien, si me permitís el símil, de ser Gaia un ser vivo los vaivenes del dióxido de carbono atmosférico reflejarían en cierta forma su respiración.

Eduardo Punset con James Lovelock.

¿Y qué sucedía con la tendencia creciente? Keeling fue uno de los primeros en alertar de un incremento del dióxido de carbono atmosférico a causa de la actividad humana. El gas que se añadía año tras año procedía de la quema de hidrocarburos fósiles, del petróleo, del carbón, del gas que venimos consumiendo de modo masivo desde la revolución industrial, hace dos siglos y medio, pero que llevaban escondidos en el interior de la corteza terrestre hacía millones de años. La máquina de vapor, los coches, las fábricas, las centrales térmicas, los aviones, las calefacciones están devolviendo a la atmósfera ese carbono que ha llevado tantos milenios arrinconado, y hoy reunimos evidencias suficientes para afirmar que este incremento está acentuando el efecto invernadero y, por extensión, desbaratando la circulación termohalina, es decir, las corrientes termorreguladoras de los océanos. La corriente del Golfo es una de ellas, con tiempos de tránsito de más de mil años.



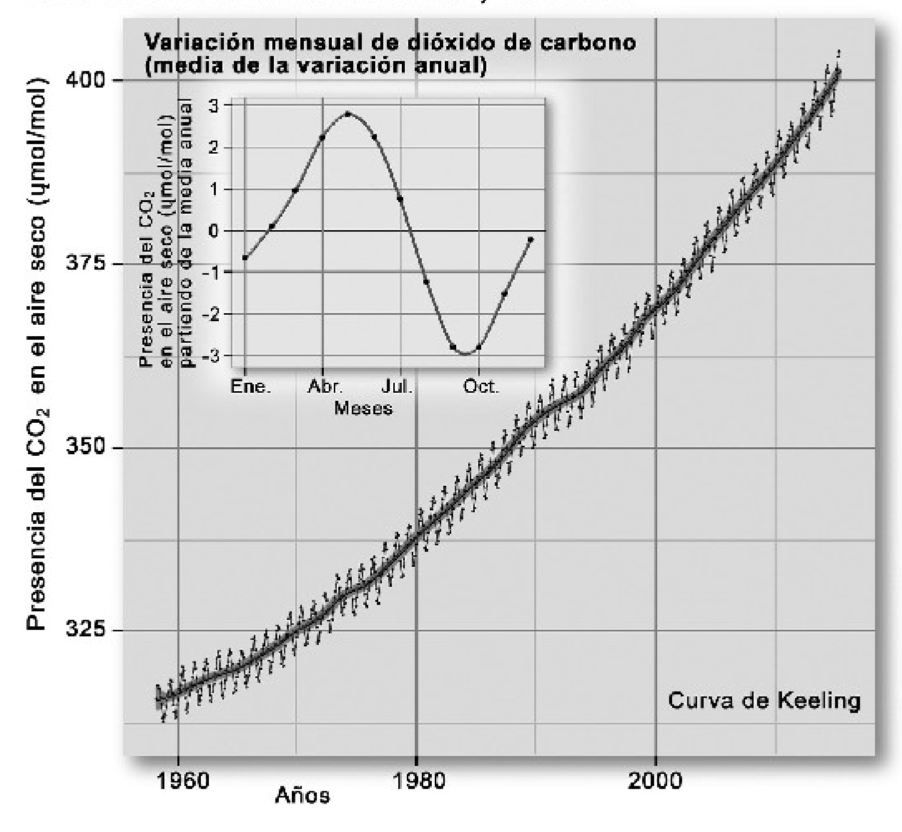
La circulación termohalina está subestimada con relación al efecto invernadero.

LA SOLUCIÓN A UN PROBLEMA

El ambiente se caldea, el paisaje se transforma, el clima cambia. En Salou, en España, en Hawái y en todo el globo. Keeling fue de los primeros en mostrar un testimonio de nuestra capacidad de transformación del mundo y de cómo las acciones locales —el crecimiento descontrolado de Salou, por ejemplo— suman y tienen un efecto global. De todos modos, no somos los primeros en perpetrar un cambio a tan gran escala. 2.500 millones de años atrás, el auge de las *cianobacterias*, unos microbios verdeazulados capaces de realizar la fotosíntesis, inundó la atmósfera de oxígeno. Antes, ese gas era casi inexistente. Los primeros seres vivos eran bacterias cuyo metabolismo era distinto al basado en el oxígeno. De hecho, el oxígeno era tóxico para estas especies, y cuando las cianobacterias empezaron a extenderse y a liberar ese gas en enormes cantidades se produjo la primera extinción masiva de la historia geológica. Un enfriamiento de la Tierra hace doscientos millones de años acabó con los dinosaurios, que no supieron adaptarse a ese cambio causado supuestamente por el impacto de un asteroide o por un pico de actividad volcánica. Nuestra casa también ha pasado por numerosos períodos glaciales provocados por variaciones en la órbita terrestre alrededor del Sol que han extendido los casquetes polares hasta latitudes medias. En definitiva, la Tierra está sujeta a cambios constantes y ha salido airosa de todos

ellos, tal y como me explicó el desaparecido Stephen Jay Gould: «Es muy difícil aceptar que podemos incidir sobre las singularidades del planeta. La Tierra seguirá siendo lo que es, ajena a lo que hagamos nosotros cuando ya hayamos desaparecido todos».

Gould tenía razón: la Tierra sobrevivirá a nuestro embate y cuenta todavía con algunos miles de millones de años de vida por delante, según predicen los cosmólogos. Pero habitar su superficie puede ser complicado si las condiciones se perturban. Hemos visto que adaptarse al cambio es imprescindible, aunque ello no significa que sea sencillo. El cambio global que vivimos hoy, visto en el contexto geológico, es extraordinario, no tanto por su magnitud como por su rapidez, y eso dificulta a los ecosistemas adaptarse al nuevo entorno y repercute en nuestra calidad de vida. Cuando conocí a James Lovelock, éste me advirtió de que Gaia es una señora entrada en años que merece respeto. Cree que aún no le hemos hecho suficiente daño a la Tierra para darnos cuenta de lo maravillosa que es y que tendríamos que preocuparnos más por ella: «Gaia existe desde hace quizá 3.000 o 4.000 millones de años. Es una señora mayor. Se parece a mí, que casi tengo ochenta años. Todavía podemos dar guerra, pero las cosas ya están empezando a deteriorarse… Y hay que tener eso presente».



La curva de Keeling.

La buena noticia es que existen soluciones. Lovelock dio en el clavo al afirmar que la salida está basada en la tecnología, y no en su abandono. Os lo voy a ilustrar con un ejemplo. En 1995 el premio Nobel de Química fue para el mexicano Mario Molina, el holandés Paul Jozef Crutzen y el estadounidense Frank Sherwood Rowland, por advertir al mundo de un adelgazamiento de la capa de ozono que envuelve la Tierra, de entre unos veinte y cincuenta kilómetros sobre nuestras cabezas. El ozono es un gas cuyas propiedades nos protegen de los efectos cancerígenos de los rayos ultravioleta procedentes del Sol. A esa altitud, absorbe una buena proporción de dichos rayos e impide que alcancen la superficie del planeta. En los años setenta, Molina, Crutzen y Rowland mostraron ante la incredulidad de muchos que dicha capa se estaba adelgazando en la región de los polos, sobre todo en el Sur, encima de la Antártida, y que la causa de esa degradación eran unos gases que no existen en la naturaleza pero que, tras su descubrimiento, a principios del siglo xx, fueron ampliamente

utilizados en la industria como refrigerantes y propelentes de aerosoles. Son los *gases clorofluocarbonados*, más comúnmente conocidos como CFCs, y en el ámbito doméstico los encontrábamos en los frigoríficos y en los *sprays*, en desodorantes, lacas, ambientadores, insecticidas... Lo que descubrieron los laureados con el Nobel fue que, pese a ser gases inocuos para la salud humana, éstos son muy estables y permanecen suficiente tiempo en el medio ambiente como para llegar a la altitud donde se concentra el ozono. Ahí se descomponen por la radiación ultravioleta y los productos de ese proceso provocan la degradación del ozono.

Esa alerta fue en 1974, pero todavía tuvieron que pasar quince años para que la sociedad tomara conciencia del problema y la Organización de las Naciones Unidas alcanzara el consenso entre países para la reducción drástica del uso industrial de CFCs. No fue hasta el año 2000 que la capa de ozono mostró su primer signo de recuperación. Tuve la suerte de conocer a Mario Molina en Puebla, en su México natal, y él mismo me explicó que en la región antártica el ozono había ya desaparecido prácticamente en su totalidad, en más del 99 por ciento. De ahí la denominación de *agujero de la capa de ozono* en esa región. Era un verdadero boquete, de dimensiones colosales, y por suerte se concentró en una región del planeta inhabitada. De todos modos la capa también se vio debilitada en el resto del mundo, e incluso el creciente agujero algún año llegó a alcanzar el sur de Sudamérica, lo que empezaba a poner en riesgo la salud humana por posibles problemas en la piel y en los ojos causados por los rayos ultravioleta. Lo importante de este ejemplo es que apostar por el conocimiento nos permitió reunir evidencias de un problema de salud de Gaia, los científicos emitieron un diagnóstico muy robusto y se consiguió que los países se pusieran de acuerdo para tomar medidas y encontrar alternativas a los CFCs. El agujero hoy se recupera, despacio pero se recupera, y tal y como me manifestó Molina, los científicos dan el problema por resuelto: «Y el motivo es el siguiente: pudimos lograr un acuerdo internacional, el llamado Protocolo de Montreal, por el que todos los países del planeta se pusieron de acuerdo en no producir más estos compuestos. Pero el agujero todavía no ha desaparecido, porque los compuestos que se emitieron durante el siglo pasado en parte todavía siguen en la atmósfera. Van a tardar un siglo en desaparecer».

La energía del conocimiento

El del cambio climático es un problema bastante más complejo. Si

expertos como Molina vaticinan una recuperación de los niveles de ozono de por lo menos un siglo, la idea de volver a la concentración de dióxido de carbono de antes de la revolución industrial es mucho, mucho más remota. Según algunos científicos, en el supuesto de pararse las emisiones de este gas, deberían pasar no siglos sino algunos milenios para volver a los niveles anteriores a la máquina de vapor. Eso se debe al hecho de que estamos extrayendo fuentes de carbono que permanecieron millones de años apartadas de la atmósfera, fosilizadas dentro de la corteza terrestre, y ante nuestra acelerada tasa de emisión los ecosistemas no son capaces de absorber tal cantidad de dióxido de carbono. Los científicos siguen buscando soluciones para favorecer la fijación de carbono, pero la estrategia actual va por dos lados. La primera es la adaptación al cambio, vista su inevitabilidad. Adaptarnos y prepararnos para que su impacto no sea tan catastrófico. Y la otra estrategia es frenar las emisiones, lo cual pasa por reescribir el modelo energético: conseguir que las economías se basen en energías limpias y renovables, que no se agoten con el tiempo, y frenar en lo posible las emisiones de gases de efecto invernadero. El viento, el sol, los ríos, las olas, los volcanes... La Tierra nos ofrece muchas de estas fuentes y saber aprovecharlas depende de nuestro potencial creativo. En realidad, históricamente ya las utilizamos, y encontramos testimonios de ello en los molinos de viento de La Mancha o en las antiguas industrias textiles o papeleras impulsadas por la fuerza de los ríos. Ahora estamos reinventando la rueda, esta vez para sacar mayor eficiencia de estas fuentes.

«En el futuro, las fuentes de energía dependerán de nuestra capacidad de pensar y de construir cosas, no de lo que extraigamos de la Tierra. Las nuevas fuentes no dependen de los recursos naturales sino de nuestra capacidad de crear la tecnología para acceder a ellas.» Esta vez no me lo dijo James Lovelock, sino Steven Cowley, en el Centre for Fussion Energy de Culham, en plena campiña británica. Este físico investiga la mayor promesa en lo que se refiere a fuentes de energía limpias e inagotables: la fusión nuclear. Fusión con «u»; no confundir con fisión, con «i». La energía de fisión es la de las centrales nucleares actuales y se obtiene al romper los núcleos de los átomos. En cambio, la de fusión consiste precisamente en lo contrario, en juntar núcleos, y no tiene nada que ver con la radiactividad y las catástrofes que la fisión ha llegado a causar.

COPIAMOS LA NATURALEZA

Si no hubieran existido los animales voladores o los peces, quizá la

aviación no estaría hoy tan avanzada. Sin esas plantas con frutos que se aferran a los pantalones y se enmarañan en el pelo de los perros puede que aún no se hubiera inventado el velcro. Sin los majestuosos sauces a orillas de los ríos ni se nos hubiera ocurrido sintetizar aspirinas en cantidades industriales para combatir jaquecas, resacas y otras dolencias. Sin el vuelo absolutamente silencioso de los búhos, Japón no se colgaría la medalla de poseer el tren bala. Sin delfines o murciélagos, quién sabe si habríamos inventado el sónar.

Todos ellos son ejemplos de ingenios e ideas surgidos de la observación de la naturaleza. Desde siempre, hemos imitado lo que hacen los seres vivos. ¿Por qué?, os preguntaréis. Sencillamente, porque la selección natural se ha encargado de perfeccionar las formas y las funciones de las especies, y eso nos ahorra trabajo. El experto en biomecánica Steven Vogel repasa exhaustivamente todos los principios de la física que han materializado nuestros ingenieros e investigadores del campo de la ciencia de los materiales y los compara, uno a uno, con las soluciones por las que ha optado la naturaleza. Los materiales flexibles, la rueda, la resistencia a la tensión o a la tracción, los motores, el aprovechamiento de la energía del agua y del viento o incluso la propulsión a chorro son inventos que nos hacen sentir la especie más ingeniosa de la superficie terreste, pero Vogel demuestra, en su libro *Ancas y palancas*, que todo esto ya estaba inventado antes, mucho antes, y que hoy lo encontramos en nuestro entorno gracias al azar de las mutaciones genéticas y a la eficiente selección natural. Y, por muy listos que nos creamos, somos incapaces de imitarlo todo. Recuerdo que Janine Benyus, autora del libro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* («Biomimética: innovación inspirada por la naturaleza»), me reveló que todavía quedan muchísimas cosas por copiar. La fotosíntesis es una de ellas y la fusión nuclear otra. Pero para esta última parece que nos falta poco.

La fusión es la energía de las estrellas, de nuestro Sol. La gente se pregunta a menudo para qué demonios sirve la astronomía, por qué nos empeñamos en conocer qué sucede en los confines del universo cuando aquí mismo debemos afrontar problemas como la hambruna, las guerras o las crisis económicas. Pues el de la fusión es un claro ejemplo del potencial económico y medioambiental de tratar de reproducir cierto conocimiento adquirido a partir de la observación astronómica, ya que lo que estamos intentando con esta fuente de energía es construir pequeños soles en la Tierra. Eso no es fácil. La principal dificultad radica en que para conseguir fusionar núcleos necesitamos vencer la fuerza de repulsión entre sí, y eso requiere una cantidad de energía enorme. Mientras que en el Sol este proceso

ocurre a 15 millones de grados centígrados, en condiciones de laboratorio, los experimentos realizados requieren —ojo al dato— 170 millones de grados.

¿Cómo es posible alcanzar semejante temperatura sin que se fundan antes los aparejos y dispositivos productores de tal cantidad de calor? El asunto no es fácil. En el experimento parten de núcleos de hidrógeno y los calientan dentro de un campo magnético para fusionarlos y dar lugar a núcleos de helio (un gas noble). La fuerza del campo magnético los confina en una especie de jaula que mantiene este gas a una temperatura enorme a la vez que impide que entre en contacto con las paredes. De ese modo, el hidrógeno ni se enfría al contacto con los materiales de su continente —no hay tal contacto— ni calienta los mismos. A partir de una temperatura de unos 100 millones de grados empieza la fusión, y el proceso mejora a medida que aumenta la temperatura. Para que os hagáis una idea, en un experimento realizado en 1997 por el mismo Cowley, partieron de menos de un gramo de hidrógeno. Consiguieron la fusión y, a una temperatura superior a los 150 millones de grados, empezaron a generar energía por valor de 16 millones de vatios. Esto es equivalente a lo que necesitan unas 8.000 estufas eléctricas funcionando a la vez, e insisto, se alcanzó esa cantidad de energía a partir de menos de un gramo de hidrógeno, un gas más que abundante en el mundo.

Este proceso se asemeja al de encender una hoguera con una cerilla. Encender la cerilla para quemar el papel y la madera bien apilados en la chimenea equivale a obtener la temperatura inicial superior a los 100 millones de grados para alcanzar la fusión. Una vez se ha prendido fuego a la hoguera, la alta temperatura para la combustión se retroalimenta y el fuego se mantiene a sí mismo. Con la fusión sucede igual. Una vez superada la temperatura que desencadena la reacción, ésta se mantiene gracias a la energía que se libera de la misma.

En Francia estamos construyendo un experimento para producir energía de fusión a gran escala. Se trata del Reactor Internacional Experimental Termonuclear, el ITER, de sus siglas en inglés, y es uno de los experimentos más caros de la historia. El ITER será la primera prueba piloto experimental y comercial de lo que podría ser el nuevo paradigma energético. Se prevé su puesta en marcha hacia el 2018, pero Cowley me advirtió que deberemos esperar, por lo menos, hasta el 2030 para que esta energía pueda difundirse a través de las redes eléctricas. Y luego aún pasará más tiempo hasta que se convierta en la principal fuente de energía. Mientras, pasaremos por una etapa de transición energética —ya la estamos pasando, de hecho— en la que

convivirán las fuentes tradicionales del carbono, la fisión y las renovables, muy poco eficientes al lado de la ansiada fusión. Cuando ésta llegue, puede que vivamos una nueva revolución tecnológica.

«Habrá un día, en la década de 2020, en el que el ITER será autosuficiente por primera vez. Ese día marcará un hito en la historia de la ciencia.»

Referencias

- James Lovelock, *Las edades de Gaia*, Tusquets, Barcelona, 1993.
- Janine Benyus, *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, William Morrow & Co, Nueva York, 2002.
- Steven Vogel, *Ancas y palancas*, Tusquets, Barcelona, 2000.

7

ES MEJOR UN AMIGO QUE UN FÁRMACO

Podemos controlar nuestro estado de salud.

A nuestras madres todo les preocupaba. Ni la mía, a pesar de tener al médico en casa, su marido, se tranquilizaba cuando perdía a sus hijos de vista —salvo Albert, el único *vilellenc* de los cuatro hermanos, que en esa época aún iba en brazos de madre—. Al acercarse el solsticio, mis amigos del pueblo y yo bajábamos a jugar al río. No sé cómo lo hacían las madres para estar tan al tanto de nuestras intenciones, pero a la que intuían que salíamos a cazar sapos o a intentar pescar alguna carpa sacaban corriendo el cesto de costura y nos cosían el cuello de la camisa para impedir que nos la quitáramos para meternos en el agua y evitar, así, incidentes indeseados. Prevenir era la única vía para evitar la debacle. Por eso, regresar del río con los cuellos desprecintados estaba penalizado con no volver a salir a jugar en un par de semanas, lo que para nosotros significaba una tortura. En realidad, era una tortura igual el no poder meterte en el agua bajo ese sol que no conocía la piedad.

Durante esos tiempos de posguerra hubo algo que salvó a los niños de la Vilella Baixa del aburrimiento: aprender a coser. Ante el régimen opresor de nuestras madres —ellas lo llamarían preventivo—, el hilo y la aguja eran la clave de la diversión. En todo el verano no nos separábamos de nuestro kit portátil de costura. Llegábamos al *riu* Gran, apartado del núcleo urbano y de la vista de cualquier espía, nos liberábamos de las ataduras y nos metíamos en el agua hasta que los labios viraban a morado. Entre tembleques nos secábamos al sol, nos vestíamos y nos sellábamos las camisas de nuevo los unos a los otros. Ni rastro del delito. Y lo más paradójico es que apenas enfermábamos. Pocos se resfriaron, y los accidentes no fueron más allá de alguna contusión o un rasguño sin importancia. La emoción de descubrir el mundo, de jugar, de divertirnos, parecía que nos hacía indemnes. Nos metíamos en la cama excitados y esperábamos con ansia un nuevo amanecer para regresar de nuevo al río. Incluso si caíamos enfermos, teníamos prisa por recuperarnos y escapar de nuevo. Vivíamos emocionados.

Al mando de la productora del programa *Redes*, siempre insistí a mi equipo de biólogos, psicólogos y realizadores en trabajar bajo el objetivo de conciliar conocimiento con entretenimiento. Si queréis que vuestro mensaje llegue a cualquier audiencia, sean telespectadores, lectores, alumnos o incluso votantes, no podéis obviarlo. Sin entretenimiento sólo conseguiréis amuermar a los demás y no se enterarán de nada. Afirma el neurobiólogo Francisco Mora que el placer es el mecanismo a través del cual el aprendizaje se disfraza de juego. Mis amigos de la Vilella Baixa y yo lo sabíamos muy bien, aunque no nos percatáramos de ello. Jugar es una innovación de la naturaleza a través de la cual los animales —no sólo los humanos— adquieren habilidades y capacidades útiles para la vida, los conduce a moverse mejor en el espacio físico y a relacionarse con lo demás. Recuerdo, no obstante, que la psicóloga infantil Alison Gopnik me hizo ver que los humanos somos la especie que más tiempo invierte en el aprendizaje de sus hijos, casi dos décadas hasta la superación de la adolescencia. Ningún otro animal pasa por un período de inmadurez tan largo como lo hacemos los humanos, y si algo nos caracteriza es lo desnudos que llegamos al mundo. Y no me refiero a la ausencia de ropa. Mientras que a las pocas horas de salir del cascarón un pollito es capaz de abastecerse de comida por sí solo, nosotros, los humanos, apenas aprendemos a alimentarnos por nuestra cuenta pasados uno o dos años desde que nacemos. Pero lejos de perder el tiempo, bebés, niños y adolescentes lo invierten en dar rienda suelta a su imaginación, en saciar su curiosidad, en crear, descubrir, inventar, ensayar, innovar. Para Gopnik, los bebés son como el departamento de I+D de la especie humana. Son todo creatividad e innovación, y el medio es el juego.

Existe una tendencia generalizada —¿la podemos denominar epidemia?— a abandonar este espíritu explorador. Las presiones que vamos recibiendo y acumulando con la edad nos generan una tensión y una ansiedad cada vez más constantes, y con el tiempo esto nos empuja a dejar de lado el carácter jovial e impulsivo de la niñez y la adolescencia. Cuando este proceso se pone en marcha, de modo pausado pero constante, persistente, acaba produciéndose lo que Francisco Mora denomina el *apagón emocional*, donde el agobio y el estrés se convierten en los peores enemigos de esa fascinación por descubrir y entender cuanto nos rodea.

El estrés es seguramente una de las emociones básicas más perturbadoras de nuestras vidas. Es un incordio, pero aun así es necesario. Nos pone en situación de alerta ante una amenaza y lo hace a través de una hormona, el *cortisol*. De no padecer estrés, nadie

cumpliría plan alguno. Sería difícil superar un examen, encontrar un trabajo, dar un frenazo para salvar el pellejo. Robert Sapolsky estudió durante décadas el estrés en manadas de monos babuinos, en el mismo corazón del Serengeti y en su laboratorio de la Universidad de Stanford. Este apasionado primatólogo y neurólogo constató que, mantenida en el tiempo, esta emoción causa numerosos problemas de salud y agrava enfermedades como la diabetes,la hipertensión,la descalcificación ósea o la depresión. En dosis prolongadas, el cortisol pasa factura, tal y como también hemos visto unos capítulos atrás.

Ahora sabemos, además, que la ansiedad pasa por encima de otras emociones positivas y causa ese apagón del que habla Mora. Pero afortunadamente, gracias a la irrupción de la inteligencia emocional, hoy disponemos de armas para combatir el estrés y, con ellas, el apagón: aprender a gestionar nuestras emociones, dejarnos llevar por el instinto, ampliar nuestra red social, compartir, meterse en la piel de los demás, planificar… Recordad que la felicidad la encontraréis en la antesala de la felicidad. Y no parar, hacer deporte, viajar, aprender cosas nuevas, tocar un instrumento… En definitiva, favorecer la plasticidad neuronal. Si encima lo hacéis en compañía de alguien, mucho mejor.

Hace un lustro, charlé un buen rato con Samuel Barondes, un reputado psiquiatra de la Universidad de California en San Francisco. Me hablaba de los fármacos que utilizamos para combatir problemas del cerebro, como la ansiedad, la depresión u otros trastornos, y salió el tema del alcohol. No es un fármaco, al menos no fue creado como tal, pero desempeña una función equivalente en cierto modo a medicamentos como el Valium. Según Barondes, en una fiesta llena de personas extrañas, una persona con un poco de fobia social suele hallar sosiego en la barra del bar. Allí, esta persona encontrará una droga psicológica muy, muy poderosa llamada alcohol que, de acuerdo con lo que explicó el psiquiatra, actúa exactamente como el Valium, sobre el mismo receptor del cerebro, llamado receptor GABA. Existen muchas diferencias entre mecanismos de acción, pero ambos pueden contribuir a rebajar estos niveles de ansiedad que produce infiltrarse en un recinto repleto de desconocidos.

Sin embargo, debemos darnos cuenta de que existe otro método con el mismo potencial de reducir esa tensión y que, de paso, nos ahorrará la resaca: acudir a la fiesta acompañado. Ir con un amigo. ¡Son tantas las dolencias que podríamos prevenir sólo con compartir parte de nuestra vida con los demás! Si en algo tardamos es en reinventar de una vez por todas las políticas de prevención a raíz del colapso producido por la necesaria universalización de las

prestaciones sanitarias, educativas, sociales o de seguridad ciudadana. Contamos con pruebas experimentales de que se podrían mermar las demandas futuras de prestaciones mediante políticas innovadoras de prevención. La generalización imprescindible de las prestaciones se llevó a cabo sin pararse a pensar ni un segundo en el arsenal virgen de las políticas preventivas. Y hay que tomar ejemplo de los jóvenes, quienes ni conocen ni aceptan que haya que reinventar dichas políticas, pues son para ellos un bien adquirido. Los mayores son grandes consumidores de medicamentos. Los jóvenes prefieren un amigo que un fármaco, porque la ciencia les ha enseñado ya que la dosis adicional de bienestar que puede prodigar un amigo cuesta menos que un medicamento. Quizá las nuevas generaciones no sepan gestionar sus emociones, pero conocen su existencia; conviven con ellas y viven más tiempo que los mayores influidos por sus sentimientos y pasiones. Lo ven mis queridas nietas todos los días en el colegio. Lo veía yo en aguas del río Montsant. La cosa empieza a tambalearse con los primeros suspiros del apagón emocional y hay que impedir que eso suceda.

La expectativa importa

Pregunté sobre la prevención a uno de los mayores expertos en el estudio del poder beneficioso —y dañino— de la mente, Irving Kirsch, psicólogo neoyorquino, director del Programa de Estudios del Placebo en Harvard. De su respuesta se destilaba que las expectativas que ponemos en la vida pueden contribuir a prevenir muchas dolencias. Kirsch lleva décadas estudiando el efecto placebo y cómo éste influye en la salud de las personas. Gracias a trabajos como el suyo, hoy sabemos que buena parte de lo que esperamos es lo que cuenta con relación a cómo nos encontramos. En dicho aspecto Kirsch coincide con Tali Sharot, psicóloga israelí afincada en Londres que constata con sus investigaciones que los humanos gozamos de un carácter optimista innato. En consonancia con Sharot, según Kirsch, nuestra manera de ver las cosas y cómo nos sentimos dependen en buena parte de lo que anticipamos, de lo que esperamos, de lo que creemos. Esta expectativa está en la base del efecto placebo —y del *nocebo*—. Las creencias optimistas y pesimistas de nuestro porvenir condicionan el mismo. Que un medicamento funcione no solamente depende del principio activo, también está en juego la creencia del paciente sobre el efecto del fármaco. Lo corroboró Kirsch: «Sabemos, por ejemplo, que la morfina mitiga el dolor. Sin embargo, si el paciente no sabe que le están dando morfina, si se la administran por vía intravenosa sin

decirle: “Ahora vamos a darte morfina”, ésta no resulta tan eficaz. Pierde la mitad de su eficacia. ¿Y esto qué significa? Pues que la mitad de la eficacia de la morfina como analgésico se debe a su composición química, pero la otra mitad tiene que ver con el cerebro, con la mente».

Increíble, ¿no es cierto? Hasta el papel del médico influye en la efectividad del tratamiento, y lo hace por dos motivos. El primero es la capacidad de contagio de su propia esperanza frente a la efectividad del tratamiento: si el doctor se muestra convencido, el paciente le otorgará su voto de confianza en que algo va a cambiar, estará más predispuesto. El segundo motivo es la sensación de calidez y consuelo que obtenemos cuando alguien parece preocuparse por nosotros. Ello puede contribuir a mejorar nuestro bienestar y, de hecho, esta faceta del facultativo es idéntica a la de un amigo cuando le metemos el rollo y lo hacemos partícipe de nuestras penurias y vicisitudes. Kirsch me puso el ejemplo de un estudio realizado con pacientes con el síndrome de intestino irritable a los que se recetó un placebo. Para unos la prescripción fue rápida y escueta. El médico mostraba un carácter frío y los despachaba en un periquete sin demasiadas atenciones. En cambio, a los pacientes restantes el médico les dedicó tiempo, los escuchó y fue próximo, cálido y amable. Mostró interés e incluso preocupación por los síntomas del paciente, y fueron precisamente los pacientes de este perfil de médico los que más mejoraron. Y recordad: ¡mejoraron con un placebo!

Incluso la forma de administrar de un fármaco puede influir en la sugestión del paciente y en su efecto curativo. El principio activo es el mismo en una pastilla, en una cápsula o en una inyección. La cantidad es la misma en los tres formatos. Sin embargo, varios estudios han indicado que las cápsulas son más eficaces que las píldoras, pero que las inyecciones funcionan todavía mejor. Asimismo, dos píldoras funcionan mejor que una sola y cuatro todavía mejor (insisto, con la misma cantidad de principio activo). Y aún más: según Kirsch, el placebo más eficaz de todos es la falsa cirugía, en pacientes a los que se volvía a coser sin ninguna otra intervención.

El mecanismo cerebral por el cual el efecto placebo funciona todavía no está claro del todo, pero, como señala Kirsch, hoy conocemos mucho más que una década atrás y seguimos aprendiendo. Sus estudios utilizan la resonancia magnética funcional, un método que permite obtener imágenes de las zonas del cerebro que concentran mayor actividad; y lo mejor de la técnica es que permite visualizarlo en el acto, mientras el sujeto está realizando alguna acción. Si, por ejemplo, está escuchando música —¡o incluso canturreando para sus

adentros!— mientras se realiza dicha resonancia, se suele detectar actividad en zonas de la corteza auditiva. En sus experimentos, el equipo de Kirsch provoca algún tipo de dolor o molestia en los pacientes y observa qué sucede en el cerebro. Acto seguido les administra un placebo y examina los cambios en la actividad cerebral. Con estudios de este tipo localiza las zonas del cerebro donde se ubican nuestras expectativas y cómo modifican la experiencia de lo que sucederá a continuación.

Otra línea de investigación se centra en el cóctel bioquímico implicado en el efecto placebo. Existen unas sustancias del cerebro que funcionan del mismo modo que los opiáceos. Son las *endorfinas*, unos neurotransmisores que cuando se liberan, inducidos tanto por ciertos fármacos opiáceos como por nuestra propia capacidad de sugestión, atenúan la sensación de dolor. Pero las endorfinas no son las únicas sustancias implicadas en el efecto placebo. El papel de las endorfinas se puede bloquear con una sustancia química llamada *naloxona*, aunque Kirsch, en sus experimentos, observó que pese al bloqueo con este compuesto seguía produciéndose efecto placebo en varios casos. Lo vio, por ejemplo, con los antiinflamatorios, fármacos no opiáceos que no se pueden bloquear con naloxona porque no tienen nada que ver con las endorfinas. Así, parece que existen varios procesos que explican la existencia del efecto placebo, y aún queda mucho recorrido por delante en este campo de estudio.

EL LADO OSCURO

El placebo tiene un efecto mucho mayor de lo imaginado. Pero, cuidado, éste tiene también un hermano malvado: el nocebo. Viví durante cuatro o cinco años en Haití como representante del Fondo Monetario Internacional. Allí pude aprender sobre el vudú. No a practicarlo, sino a estudiarlo y vivirlo como fenómeno de masas profundamente enraizado en las creencias del país. El vudú es una cultura heredada de los tiempos de la esclavitud y que las élites corruptas siguieron y siguen alimentando. Yo mismo pude contemplar cómo el propio Papa Doc, gran demagogo que echó mano del vudú para prolongar su poder, gritaba desde el balcón del palacio presidencial: «*Je suis inmateriel*!» (Yo soy invisible). En Haití aprendí que la cultura vudú está reñida con el progreso, igual que el resto del pensamiento dogmático que sigue amordazando a medio mundo. No era extraño, al pasear por las calles de Puerto Príncipe, escuchar el tam-tam de algún ritual no muy lejano o cruzarte con alguna persona que entre el creole y un francés bastante oxidado te paraba, presa de

la desesperación, para compartir la desdicha de creerse víctima del vudú. Unos lanzaban maldiciones, pero quienes se las creían acababan encarrilando su destino.

Ni magia ni maldición ni mal de ojo… El nombre correcto es nocebo. Irving Kirsch también me habló de esta faceta oscura del placebo y de su insospechado poder. Estar convencido de que las cosas van a ir mal predispone a eso mismo, a que vayan mal. Tomemos como ejemplo a las personas con depresión. En ellas, el nocebo se esconde tras el desarrollo de esta enfermedad. Al deprimirse, uno se siente desvalido y se convence de que jamás mejorará. La convicción prolonga la depresión, la retroalimenta; de aquí que sea un remolino de difícil escapatoria. En gran medida, la depresión se trata con su lado opuesto, con el placebo. El objetivo es despertar esa brizna de esperanza de que algo puede cambiar, generar una expectativa de mejora, por remota que sea. Así lo planteó Kirsch, para cerrar nuestro encuentro: «La indefensión del efecto nocebo se ve contrarrestada por la sensación de "sí, ¡quizá pueda!". Normalmente no es una certeza, pero incluso ese "quizá pueda" supone una expectativa optimista que promueve la sensación de bienestar y ayuda a mitigar la depresión».

Un psicólogo, un terapeuta, ayudará a la persona deprimida a adoptar esa perspectiva ligeramente positiva de sí mismo, del entorno y del futuro. Algunos fármacos también ayudarán. Pero, sin duda, si algo puede disparar la mejora es poder confiar en alguien que te haga sentir escuchado y comprendido. Así que ya sabéis: cuidad a vuestros amigos.

Referencias

- Tali Sharot, *The Optimism Bias*, Vintage, Nueva York, 2012.
- Irving Kirsch, *The Emperor's New Drugs*, Basic Books, Nueva York, 2011.
- Martin Seligman, *Authentic Happiness: Using the New Positive Psychology to Realize Your Potential for Lasting Fulfillment*, Simon & Schuster, Nueva York, 2004.
- Samuel Barondes, *Better than Prozac*, Oxford University Press, Nueva York, 2005.
- Francisco Mora, *Neuroeducación*, Alianza, Madrid, 2013.
- Robert Sapolsky, *Memorias de un primate*, Capitán Swing, Madrid, 2015.
- Alison M. Gopnik, Andrew N. Meltzoff, Patricia K. Kuhl, *The Scientist in the Crib: What Early Learning Tells Us about the Mind*, William Morrow & Company, Nueva York, 2000.

TERCERA PARTE

RECETAS PARA EL FUTURO

8

NO PARES, SIGUE

Importan poco los millones de años del pasado: lo que vale es mirar al futuro.

En mi libro anterior, *El viaje a la vida*, dediqué un capítulo entero al papel del movimiento en la evolución del cerebro. Os refresco un poco la memoria. El sistema nervioso surgió de la multicelularidad para posibilitar el movimiento en los animales más primitivos, y a medida que se fue complicando dio lugar a una actividad motora y a métodos de locomoción cada vez más y más sofisticados. El vuelo al unísono de cientos de estorninos al anochecer, el ruidoso aleteo de las cigarras en pleno verano, los súbitos lengüetazos de un camaleón, los dedos de un pianista, los saltos de un delfín, los de una gacela de Thompson y los de su depredador, todos son movimientos precisos, coordinados por un sistema nervioso perfeccionado tras cientos de millones de años de selección natural. El cerebro está diseñado para la acción y ésta, a su vez, incide sobre el mismo órgano. Aprender significa tender nuevas conexiones entre neuronas. Es la plasticidad neuronal, algo que fomentamos mientras no estemos quietos y que, a su vez, nos mantiene activos. Es por eso que siempre recomiendo a la gente no parar. «No pares, sigue» reza mi dedicatoria más habitual en las firmas de libros. «No paréis, seguid», aconsejé a los adeptos del movimiento 15-M en su esfuerzo para desembarazarnos de la herencia franquista de una transición inacabada cuando me los encontré en la plaza de la Escandalera de Oviedo. Y lo mismo les digo a mis nietas: «No paréis, seguid», de lo contrario os extinguiréis como personas, como seres sociales, como miembros de la manada.

No paráis, seguís

En este libro no pienso abordar otra vez los motivos por los cuales no hay que parar. Hablaré del movimiento, sí, pero en esta ocasión matizaré la frase del no parar porque, por si no os habéis detenido a pensarlo, os diré que en realidad no paráis sino que seguís. Me explico.

Cada día damos una vuelta entera alrededor del eje de la Tierra. Eso significa que una persona situada en el mismo ecuador terrestre, la línea imaginaria que divide el planeta en dos partes iguales en la

dirección de su movimiento rotatorio, recorre todos los días unos 40.000 kilómetros o, lo que es lo mismo, da vueltas alrededor del eje terrestre a casi 1.700 kilómetros por hora. A bordo de nuestra nave espacial, la Tierra, orbitamos alrededor del Sol a una velocidad de algo más de 100.000 kilómetros por hora, a una distancia media de la estrella de 150 millones de kilómetros. El Sistema Solar, nuestro barrio planetario, se desplaza dentro de la Vía Láctea, la galaxia que nos hospeda y, que a su vez, también gira sobre su eje. Damos vueltas en torno a su centro a unos 792.000 kilómetros por hora. Y aún hay más: nuestra galaxia es arrastrada junto a otras a lo largo de una región de millones de años luz hacia un punto del espacio intergaláctico llamado *Gran Atractor*. Nadie sabe con exactitud por qué sucede esto, pero sí sabemos que nos desplazamos hacia ese Gran Atractor a más de dos millones de kilómetros por hora —calma, tenemos millones de años luz por delante para alcanzar ese destino—. Y para rematar toda esta historia, ahora resulta que el universo entero se expande y lo hace cada vez más deprisa. Al contrario de perder fuelle, el universo se hincha, aceleradamente, día tras día. Definitivamente, no paramos. Somos nómadas.

El gran globo se hincha

«En un futuro extraordinariamente lejano, es posible imaginar un momento en el que todo el universo tenga exactamente la misma temperatura. Cuando eso suceda y todo converja hacia una temperatura idéntica no podrán producirse reacciones químicas, porque la energía no podrá transferirse entre los átomos. ¡Si esto sucediera, todo se detendría! Sin reacciones químicas tampoco habría manera de medir el paso del tiempo. Así que el tiempo también se detendría.»

Suena contundente, ¿verdad? El astrónomo y divulgador británico Stuart Clark me reveló que sin transferencia de energía no existirían ni el movimiento ni el tiempo. Esto, de acuerdo con Clark, podría suceder en un futuro muy muy lejano, si partimos del supuesto de que el universo se hincha como un globo, sin parar y aceleradamente.

Cuando Leo Messi propina un puntapié al balón para que alcance el otro lado del campo con una trayectoria bombeada, la pelota describe una parábola en la que al principio sube con cierta verticalidad y atenúa el ascenso progresivamente, para empezar a descender y, al fin, caer en picado. El balón regresa a la Tierra, afortunadamente, atraído por la fuerza de la gravedad del planeta. Algo parecido era una de las creencias más aceptadas en el siglo XX

para explicar la expansión del universo. La llamaban teoría del *Big Crunch* o de la Gran Implosión. Se pensaba que, aún con el impulso del *Big Bang*, la Gran Explosión que creó el espacio y el tiempo, el universo se expandía a una velocidad cada vez menor, frenado por la gravedad de todos los objetos celestes, hasta que llegaría un momento en que se iniciaría un retroceso. Como el balón de fútbol en su regreso al césped, el universo se contraería entonces cada vez más deprisa, hasta colapsar de nuevo en un punto. Esto es lo que se esperaba y se creyó durante una buena parte del siglo xx, de acuerdo con las leyes de Isaac Newton y Albert Einstein. Hasta que lanzamos el Telescopio Espacial Hubble al espacio.

Permitid un inciso. Imagino que alguna vez habréis reparado en el cambio de tono de la sirena cuando una ambulancia pasa por vuestro lado. Al dejarnos atrás, el sonido se vuelve un poco más grave. Esto se debe al *efecto Doppler*. El sonido es una onda y como tal tiene una frecuencia. La mayor frecuencia corresponde a ondas más cortas y de vaivén más rápido, que nosotros percibimos como tonos agudos. Por el contrario, los sonidos de bajas frecuencias, cuyas ondas son mayores, producen los tonos graves. La ambulancia en movimiento emite ondas sonoras a una frecuencia determinada. Respecto a un observador —yo mismo tomando un café en una terraza, por ejemplo —, las ondas de la sirena en movimiento se aplastan por delante del vehículo, ganan frecuencia, y las de detrás se ensanchan, pierden frecuencia y producen el tono más grave que oímos cuando la ambulancia pasa de largo. Con la luz sucede lo mismo. También es una onda (en este caso electromagnética), y un cuerpo en movimiento que emite luz da lugar a un efecto Doppler que, en lugar de sonidos más o menos agudos, produce cambios en la coloración.

Edwin Hubble, uno de los principales astrofísicos del siglo xx, aprovechó el efecto Doppler para estudiar la velocidad de las galaxias. Al alejarse una fuente luminosa —una galaxia— de un observador —el señor Hubble, en este caso—, la onda se ensancha, la frecuencia disminuye y la luz vira a tonos más rojos. Si por el contrario el cuerpo se acerca, como en la ambulancia, la frecuencia aumenta y la luz resultante tiende a los tonos azulados. Cabe la aclaración de que estas tendencias hacia el rojo o hacia el azul de los objetos celestes —técnicamente se las denomina *desplazamiento al rojo* y *desplazamiento al azul*— son alteraciones sutiles que no se detectan a simple vista sino con medios técnicos. Con tales métodos, Hubble estudió el movimiento de varias galaxias y nebulosas, y en 1929 comprobó que la gran mayoría muestra un desplazamiento al rojo. Se apartan de nosotros y, además, las más lejanas lo hacen más deprisa.

Medio siglo después, en 1990, la NASA y la Agencia Espacial Europea pusieron en órbita el Telescopio Hubble, entre otros objetivos para medir la tasa de expansión del universo. Por lo que me explicó Stuart Clark, los astrónomos esperaban poder estimar la desaceleración y calcular cuándo el universo cesaría su ensanchamiento y empezaría a contraerse, pero, atónitos, descubrieron que hace miles de millones de años la expansión era más lenta que en la actualidad.

El universo invisible

El hallazgo derribó el mito del *Big Crunch*, aunque planteaba una gran duda. De ser la expansión cada vez más rápida, debería existir algo capaz de vencer la fuerza de la gravedad de los objetos celestes y empujarlos a alejarse unos de otros. No tenemos la menor idea de cuál es la fuerza que acelera la expansión del universo. Carecemos de cualquier indicio o evidencia de que ello exista, pero de momento, por descarte, es la única idea a que podemos aferrarnos. Hay algo, hasta la fecha indetectable, que ejerce una fuerza de amplio alcance y que, al contrario de la gravedad, en lugar de atraer los objetos hace que se repelan. Es una fuerza de antigravedad, y a su responsable los científicos lo han denominado *energía oscura*.

El cosmólogo británico Paul Steinhardt me explicó una vez en Oxford que hasta el descubrimiento del telescopio Hubble considerábamos el universo como un puñado de materia y energía asociada a esa materia. De hecho, la más conocida ecuación de Albert Einstein, $E = mc^2$, pone en común materia y energía. El conocimiento del universo pivotaba en torno a esa relación hasta que descubrimos su expansión acelerada, que nos condujo a introducir el concepto de energía oscura, una nueva forma de energía aparentemente al margen de la materia.

A pesar de todo el conocimiento que hemos acumulado sobre el cosmos, si algo hemos aprendido últimamente es que lo desconocemos en su mayor proporción. Según los últimos descubrimientos, el universo se compone en un 74 por ciento de energía oscura. Todo lo que hemos medido, observado, reproducido y teorizado hasta no hace mucho corresponde a lo relacionado con los átomos y las partículas fundamentales, lo cual representa únicamente un 4 por ciento del universo —los astrofísicos más optimistas hablan de un 5 por ciento—. Y todavía hay otro aspecto que se nos escapa: el 22 por ciento restante del cosmos, que se compone de algo que los científicos denominan *materia oscura*. «Materia» porque todo apunta a que hay algo material

ahí afuera, pero compuesto por elementos distintos a los átomos, y «oscura» por el mismo motivo, por no haber sido aún capaces de medirla de modo alguno. El astrofísico mexicano Luis Felipe Rodríguez me aclaró que esta materia oscura se descubrió al darse cuenta los científicos de que las galaxias rotan en su región más externa a una velocidad más alta de lo que predicen las leyes de Newton y Einstein. La gravedad disminuye con la distancia y, en consecuencia, planetas alejados de nuestro Sistema Solar como Neptuno o Urano orbitan alrededor del Sol a menor velocidad que Mercurio, el planeta más cercano a nuestra estrella. A esta escala, los planetas cumplen con las leyes de la gravitación. Pero eso no sucede al contemplar las galaxias enteras. La velocidad en las regiones más externas es la misma que la de sus regiones cercanas al centro, pero por otro lado la gravedad de la galaxia no es suficiente como para impedir que los objetos celestes más externos se esparzan, salgan disparados, a causa de la fuerza centrífuga. Y lo sorprendente es que esto no sucede. Una vez más, por descarte, los científicos han concluido que debe de haber algo más, algo que han denominado materia oscura, cuatro veces más abundante que la materia que conocemos, que impide que las galaxias se desparramen a causa de su propia rotación.

Motores galácticos

Es increíble. Llevamos siglos escrutando el cosmos y ahora nos damos cuenta de lo misterioso que continúa siendo a nuestros ojos. ¡Aún nos falta un 95 por ciento por entender! Intuimos la existencia de algo llamado materia oscura que impele las galaxias a alejarse, al espacio a ensancharse y al universo a ganar volumen. Es el motor de la expansión de la galaxia, pero a menor escala existen otros fenómenos no tan misteriosos aunque aún bastante desconocidos, que para algunos astrofísicos actúan como motores galácticos al ejercer fuerzas capaces de movilizar masas inimaginables para nuestra minúscula mente. Me refiero a los *agujeros negros*. Y si alguien me supo explicar su papel en el cosmos, ése fue Caleb Scharf.

«Durante los últimos veinte o treinta años hemos aprendido varias cosas sobre los agujeros negros, y lo principal es que ¡son reales! No son meras estructuras hipotéticas en el universo, sino que son muy reales. Al parecer, en el centro de la mayoría de las galaxias existe una versión supermasiva de un agujero negro que puede contener, tal vez, varios millones o incluso miles de millones de veces la masa del Sol, confinada dentro de una región tremendamente misteriosa que

conocemos como *horizonte de sucesos*. Y si algo más hemos aprendido es que no están tranquilos, o por lo menos no siempre.»

Vistas su existencia e importancia, vale la pena detenerse un momento a explicar qué es un agujero negro. Imaginad una gigantesca nebulosa de gas y polvo de dimensiones cósmicas. Con el paso del tiempo —no hablo de meses ni décadas sino de millones de años—, las moléculas y partículas que la forman tienden a agruparse a causa de la gravedad de la materia. Al final todo el contenido de esa nebulosa acaba confinado en un único cuerpo, como una estrella. A más masa y menor volumen, la gravedad aumenta y eso atrae todavía más materia, que a su vez acentúa esa fuerza de atracción y, con el tiempo, el objeto se comprime cada vez más y más y más. Puede que os preguntéis cuánto puede llegar a compactarse la materia. Ya os avanzo que una barbaridad. Por ejemplo, existen un tipo de estrellas increíblemente densas, las llamadas *estrellas de neutrones*, cuyo diámetro puede ser de pocos kilómetros, pongamos veinte por citar una cifra, aunque su masa supera la de nuestro Sol, de diámetro unas 70.000 veces mayor. Un agujero negro es un cuerpo con tanta masa, y tan compacta, que ni algo que viaja tan deprisa como la luz puede escapar a su extrema fuerza gravitatoria. De hecho, existe una distancia respecto del agujero negro a partir de la cual nada puede escapar de su atracción. Esa frontera, ese punto de no retorno, es el horizonte de sucesos que mencionó Scharf. No tenemos la menor idea de lo que sucede más allá de ese horizonte, pues nada puede salir de esa región y llegar hasta nosotros. Ni una onda ni un fotón ni un protón. Nada.

Y, sin embargo, nos llega información de sus inmediaciones. Las partículas que se aproximan al horizonte de sucesos adquieren una velocidad elevadísima, chocan unas con otras en violentas colisiones, y eso genera cantidades ingentes de energía que expulsan parte del material hacia el exterior, a una velocidad cercana a la de la luz. Es esta información la que llega hasta nosotros, en forma de ondas electromagnéticas como los rayos gamma o los rayos X, y que científicos como Caleb Scharf pueden captar e interpretar con ayuda de la tecnología actual.

Alimentados por cuanto sucumbe a su voraz apetito, los agujeros negros se comportan como colosales máquinas de transformar materia en energía. Scharf está convencido de que dicha energía contribuye a regular la formación en la galaxia de estrellas, planetas y todos los elementos necesarios para que surja la vida. Repito: la vida. Para Scharf, existe un vínculo entre la actividad de los agujeros negros y la vida en la Tierra. «En el contexto de nuestra galaxia, creemos que hay

otros lugares del universo donde los agujeros negros producen tantísima energía que prácticamente esterilizan la galaxia, la subyugan por completo. Toda esa energía impide que se formen nuevas estrellas y nuevos planetas, y, en último término, hace, según creemos, que dichos lugares se vuelvan yermos y no puedan albergar planetas como la Tierra, donde florece la vida. En cambio, nosotros vivimos en una galaxia interesante: claramente estamos aquí, de modo que hay algo que permite que así sea.»

Así, existen galaxias cuyos agujeros negros imposibilitan la vida, porque generan tal cantidad de energía que todo lo esterilizan. La Vía Láctea, como muchas otras galaxias, tiene un agujero negro supermasivo en su centro de comportamiento más amable. Es evidente que no lo ha esterilizado todo, de lo contrario no estaríamos aquí.

Con su enorme fuerza gravitatoria y ese potencial de transformarla en energía, los agujeros negros modulan la dinámica de las galaxias, el movimiento de las estrellas y del cosmos en general. En realidad, según Albert Einstein, la fuerza de la gravedad no es una fuerza en sí misma, sino la consecuencia de la deformación del espacio-tiempo por la presencia de un objeto muy masivo, como un agujero negro. Eso me lo explicó Pedro Ferreira. Este físico portugués y profesor en la Universidad de Oxford disfruta como nadie explicando a sus alumnos la Teoría de la Relatividad de Einstein, sus predicciones y lo que hoy podemos constatar con los nuevos experimentos. Einstein cambió nuestra concepción del universo. El espacio y el tiempo dejaron de ser un escenario por donde desfilan una serie de actores, los objetos celestes, como si éstos cobraran vida propia. En el nuevo paradigma, ante la presencia de un planeta con una masa determinada, el espacio y el tiempo responden, se deforman y se ajustan a dicha masa. Y los agujeros negros llevan esta deformación del espacio-tiempo al límite. «El espaciotiempo cobra vida propia, en el sentido de que se deforma, se dobla, cambia, se curva…, y una de las predicciones más fascinantes es que, si se concentra muchísima materia en un lugar del espacio-tiempo, se curvará tanto que acabará formando lo que conocemos como agujero negro.»

Gracias a este fenómeno predicho por Einstein, los astrofísicos han podido detectar con métodos indirectos la existencia de agujeros negros. Hemos visto que una forma de hacerlo es a partir de ciertas ondas que llegan hasta nosotros desde rincones remotos del cosmos, expulsadas por la violenta actividad de los horizontes de sucesos. El otro método es el que me reveló Ferreira y que parte del estudio del movimiento de las estrellas en el centro de la Vía Láctea y de otras

galaxias. Al cartografiar el movimiento de las estrellas se ha podido comprobar que éstas trazan órbitas muy extremas, muy ajustadas y anómalas, y lo único capaz de provocar este movimiento es una atracción gravitatoria muy fuerte procedente de un lugar muy pequeño en el espacio-tiempo, un agujero negro.

Acabamos de ver ejemplos de cómo el movimiento reina en el universo y algunos de los motores que lo mantienen en marcha. Para Stuart Clark todo tiende a distanciarse de todo, la temperatura a equilibrarse e incluso el tiempo a detenerse, como he citado más arriba. Pero no os inquietéis. Deberá pasar mucho, mucho tiempo antes de que este mismo momento llegue a detenerse. Al menos, algunos miles de millones de años.

REFERENCIAS

- Alan Guth, *El universo inflacionario: la búsqueda de una nueva teoría sobre los orígenes del cosmos*, Debate, Madrid, 1999.
- Alex Vilenkin, *Muchos mundos en uno: la búsqueda de otros universos*, Alba, Barcelona, 2009.
- Frank Close, *Nothing: a Very Short Introduction*, Oxford University Press, Nueva York, 2009.
- Pedro Ferreira, *The Perfect Theory*, Houghton Mifflin Harcourt, Nueva York, 2014.
- Stuart Clark, *The Big Questions: The Universe*, Quercus, Londres, 2010.
- Richard Feynman, *El carácter de la ley física*, Tusquets, Barcelona, 2000.
- Caleb Scharf, *Gravity's Engines*, Scientific American, Nueva York, 2013.
- Stephen Hawking, *Historia del tiempo*, Crítica, Barcelona, 1998.

9

SON MUCHO MÁS IMPORTANTES LOS VIRUS QUE LOS POLÍTICOS

Los que han existido desde siempre han sido
los genes.

Fui ministro. Poco tiempo, eso sí, y por un motivo más bien circunstancial. Años antes, cuando huí de España gracias a la inesperada llamada de Manolo López, estaba medio implicado en política como representante del Comité de Coordinación Universitario del Partido Comunista Español. Me metí en dicha organización a la vuelta de Estados Unidos, donde cursé el bachillerato con una beca y donde descubrí, en la biblioteca de mi instituto, libros sobre aspectos como el feminismo o contra los movimientos xenófobos que me dieron mayor amplitud de miras. Para un español de esos años aquello era como un vendaval de aire fresco, y cuando volví para empezar la carrera de Derecho en Madrid me afilié al partido comunista. Lo hice por el ansia de abrazar algún día las libertades descubiertas en el extranjero y por las ensoñaciones juveniles de cualquier persona de esa edad. Seguí algún tiempo como colaborador del partido desde el exilio, hasta que caí en la cuenta de que me estaba distrayendo de mi carrera profesional y volví de nuevo a estudiar, esta vez un máster en Económicas en la Universidad de Londres.

Y encontré mi primer trabajo como redactor de economía en la BBC. Empezaría un largo peregrinaje que incluiría mis años en *The Economist* y en el Fondo Monetario Internacional en Haití. El hecho es que, al profundizar en mi profesión, abandoné mi coqueteo con la política sin la menor intención de volver a ella.

La intención no fue suficiente. A mi regreso del exilio, Alberto Oliart me contrató. Fue para trabajar en Renfe, primero, pero luego me pidió que lo acompañara a formar parte del Gobierno del ya desaparecido Adolfo Suárez, cuando Oliart fue nombrado ministro de Industria. Por lealtad a él, por haber ofrecido un trabajo a alguien que huyó del país y con un pasado en el partido comunista —en esa época los números para dar con un empleo bajo tales circunstancias eran escasos—, no pude negarme. Así, fui ministro de Relaciones para las Comunidades Europeas durante unos meses, entre 1980 y 1981. Suárez me eligió pese a las protestas de alguien bien situado que alegaba mi pasado exilio en Londres como un impedimento para el cargo. En realidad nadie dio importancia al nombramiento. Me tocó

restablecer las relaciones del Gobierno de España con la Comunidad Europea, truncadas con el anterior ministro, en un momento en el que este tema no le interesaba a casi nadie, obcecados como estaban todos con la transición a la democracia. Una vez cumplido ese objetivo, aún di algunos coletazos más en la misma Comunidad Europea o como *conseller* en la Generalitat de Catalunya, pero no tardé mucho en empezar a desvincularme de nuevo de la política.

La grandeza de lo ínfimo

Si algo me quedó claro durante esa etapa es que, lejos de ser algo grande, la política es mucho menos interesante que algo aparentemente insignificante, como los virus, las moléculas o las partículas fundamentales. De hecho, fue después de ese fugaz paso por algunos escaños cuando empezó mi pasión por la ciencia y la tecnología, por entender qué se esconde a nuestra limitada vista. A lo largo del libro he puesto ejemplos de descubrimientos recientes o que están por venir, pero aún no me he centrado en lo más diminuto. A ello voy a dedicar estas páginas.

Dejad que empiece por los virus. Alguien me dijo una vez que los virus son un paquete de malas noticias envuelto en proteínas. Ni siquiera sabemos si son organismos vivos o inertes, y tendemos a confundirlos con las bacterias aunque en cuanto a tamaño difieren tanto de éstas como un ser humano y la estatua de la Libertad. Para que os hagáis una idea, la magnitud de las células de animales o plantas es del orden de las decenas de micras, entre 10 y 100, en general —una micra es una millonésima parte de un metro—. Las bacterias son un orden de magnitud menor y se mueven en un rango de 1 a 10 micras. Pues bien, los virus son entre 10 y 100 veces menores que las bacterias, y se miden ya no en micras sino en nanómetros, la milmillonésima parte del metro. Esa talla escapa del alcance del microscopio óptico, por lo que nos ha costado bastante tiempo, hasta la aparición del microscopio electrónico, mucho más potente, alcanzar a ver su aspecto, aunque no por ello carecíamos de indicios de la existencia de estos agentes infecciosos. Digo *agentes* porque los científicos no se ponen de acuerdo en determinar si son o no seres vivos. Recuerdo que el virólogo Rafael Nájera, quien fue el primer director del Instituto de Salud Carlos III, en Madrid, los consideraba seres vivos —que no organismos—, y llegaba a esa conclusión no tanto por sus propiedades como por descarte: «Están vivos porque los podemos matar. Hablamos de virus vivos y virus muertos. Hay vacunas con virus vivos y con virus muertos. Lo difícil

de entender es que no es un organismo, no es una célula. Es la cantidad más pequeña de material genético capaz de transmitirse y de producir una patología en especies animales, plantas y hasta en bacterias».

Como he avanzado en páginas anteriores, los virus son parásitos celulares. Sin la existencia de células son incapaces de reproducirse, por sí solos no pueden. Son agentes muy muy simples, básicamente compuestos por una cápsula de proteínas que encierra y protege un material genético muy sencillo, pero con instrucciones suficientes para que el virus pueda introducirse en la célula y, una vez dentro, utilice a su huésped para multiplicarse. Acaparan total o parcialmente la maquinaria de la célula, y la transforman para que reproduzca virus idénticos a él y no proteínas u otros productos celulares. John Oxford, catedrático de Virología de la Queen Mary University de Londres, compara el proceso de reproducción de los virus con una bomba atómica. Una vez el intruso toma las riendas de la célula, activan una reacción en cadena que acaba por destruir el huésped y por liberar los virus recién fabricados para que encuentren nuevas víctimas. La infección se propaga.

Para otro virólogo, el holandés Albert Osterhauss, los virus, pese a su enorme sencillez, son tremendamente eficientes, pues almacenan muy poca información genética aunque suficiente como para garantizar su propia supervivencia y éxito evolutivo. Mientras que los virus más simples pueden contener material genético que codifica sólo cuatro proteínas, los más complejos codifican uno o dos centenares. Es bastante más, pero muy poco al lado de los 25.000 genes que puede tener el ADN humano, por ejemplo. Debido a esta eficiencia, según Osterhauss, no debemos temerlos tanto como admirarlos.

Su origen en la historia evolutiva no está del todo claro, pero parece que se remonta al momento en que surgieron las primeras formas rudimentarias de vida, las primeras bacterias. No existe especie alguna que sea totalmente inmune a las infecciones víricas; cualquier bacteria, hongo, animal o vegetal puede ser atacado y, en algunos casos, la relación puede ser muy específica. El virus de la rabia, por ejemplo, ataca las neuronas de los perros, pero también las células de las glándulas salivales a través de las cuales se transmitirá por la mordedura. Los de la gripe afectan a los tejidos del aparato respiratorio. El del mosaico del tabaco ataca a las células de estas plantas y otras de su misma familia, las solanáceas, como la del tomate o la del pimiento, y de alguna familia más. Estas relaciones tan estrechas sugieren que los virus han evolucionado en paralelo con sus huéspedes desde el origen de la vida y también han influido en la

selección natural de las especies mejor adaptadas. Incluso pueden haber incidido directamente en alterar el genoma de los seres vivos, pues algunos virus, como los retrovirus, son capaces de insertar sus genes en el ADN del huésped. Sin embargo, esta especificidad no elimina el riesgo de que un virus salte a otra especie en un momento dado. La gripe aviar es un ejemplo de este fenómeno donde un virus puede mutar y pasar a infectar huéspedes de otra especie. En ese caso, pasó de aves como gansos, patos y pollos a seres humanos. Algo parecido sucedió con la gripe A, inicialmente denominada gripe porcina por ser una infección propia de cerdos, que acabó trasladándose a los humanos.

Hoy sabemos mucho de los virus; por lo menos mucho más que hace un siglo, cuando ni siquiera los habíamos visto. Y aun así, conocemos bien poco. Según el epidemiólogo Ned Hayes, norteamericano afincado en Barcelona, conocemos tan sólo un 1 por ciento de los virus que se estima que existen. A pesar de ello, tenemos información sobre cómo se propagan, suficiente para atenuar una posible epidemia. En 1918, la epidemia de la denominada gripe española —cuyo brote, según John Oxford, se inició en campamentos ingleses instalados al norte de Francia, durante la primera guerra mundial— se saldó con la vida de más de cincuenta millones de personas. Incluso hay quien dice que la cifra podría acercarse a los cien millones. Fue la peor epidemia registrada en la historia y muchos expertos aseguran que algo similar puede volver a surgir. Pero pese a este riesgo, e incluso ante la frenética movilidad de los habitantes de un mundo globalizado y de sus mercancías, también estamos mucho más preparados que hace un siglo, y según expertos como John Oxford, con los avances científicos del siglo xxi no presenciaremos una mortalidad de tal alcance.

Lo más importante, en cualquier caso, es todo lo aprendido no sólo sobre ellos sino gracias a ellos. Retomo el ejemplo de Bonaventura Clotet y su equipo, que con las investigaciones para desarrollar una vacuna contra el VIH acabaron ampliando el conocimiento sobre la importancia de nuestra microbiota intestinal en el mantenimiento de un sistema de defensas sano e incluso en la prevención del envejecimiento. Pese a ser causa de enfermedad —y mortalidad—, en ellos encontramos también aliados para la lucha contra ciertas patologías.

Es el caso del trabajo antes visto de Fátima Bosch y su terapia génica, en que se repara un gen defectuoso de ciertas células mediante virus de laboratorio modificados genéticamente. Asimismo, los virus son muy utilizados en investigaciones del campo de la biología celular

y la biomedicina. Su uso permite manipular las células y controlar sus funciones. Gracias a ellos se han descubierto muchos de los procesos involucrados en la expresión de los genes, la copia del ADN dentro de la célula o la formación de proteínas. También se emplean en ingeniería genética, por su capacidad de transportar e insertar un gen deseado en una hebra de ADN de una bacteria, planta o animal. Se pueden utilizar virus para combatir plagas en los cultivos y ahorrar y atenuar el impacto ambiental de los pesticidas tóxicos. La terapia con virus es una vía más de la lucha contra el cáncer, pues podemos diseñarlos y dirigirlos a atacar únicamente las células malignas y dejar intactas las sanas. Y por si todo esto fuera poco, en los propios virus encontramos el modo de protegernos de ellos. Me refiero a las vacunas, tratamientos compuestos por versiones modificadas de los virus que, sin perjudicar al huésped, desatan una respuesta inmune que incluye la formación de anticuerpos que nos prevendrán de la infección con el agente real.

LÁMINAS, ESFERAS Y TUBOS

Los virus se mueven en la escala nanométrica, con un tamaño entre los 10 y los 100 nanómetros, aproximadamente. Por debajo, entre 1 y 10 nanómetros, encontramos ya moléculas orgánicas de tamaño considerable, como son muchas proteínas o los lípidos que componen la membrana de las células. En toda esa escala es donde se desarrolla la nanotecnología, un campo de estudio que saca provecho de las propiedades de lo más pequeño, como la mecánica cuántica, que se rige por un conjunto de leyes en absoluto comparables a las del mundo macro que podemos tocar y contemplar a simple vista. Se trata de un terreno definitivamente multidisciplinar, donde el conocimiento de biólogos, físicos, ingenieros, químicos, informáticos o estadísticos converge para dar con aplicaciones innovadoras en áreas tan variadas como la salud, la industria, el medio ambiente o incluso el arte. Por su tamaño y propiedades físicas, los virus se pueden considerar una nanopartícula más. A ello cabe añadir su potencial biológico de irrumpir en el interior de una célula, actuar como mensajeros y hacerse con el control de su huésped. Pero hoy tenemos el conocimiento y los medios para manipular el mundo nanométrico, los átomos y las moléculas, como el *microscopio de efecto túnel*. Gracias a tales técnicas, la nanotecnología no echa mano sólo de los virus; va mucho más allá.

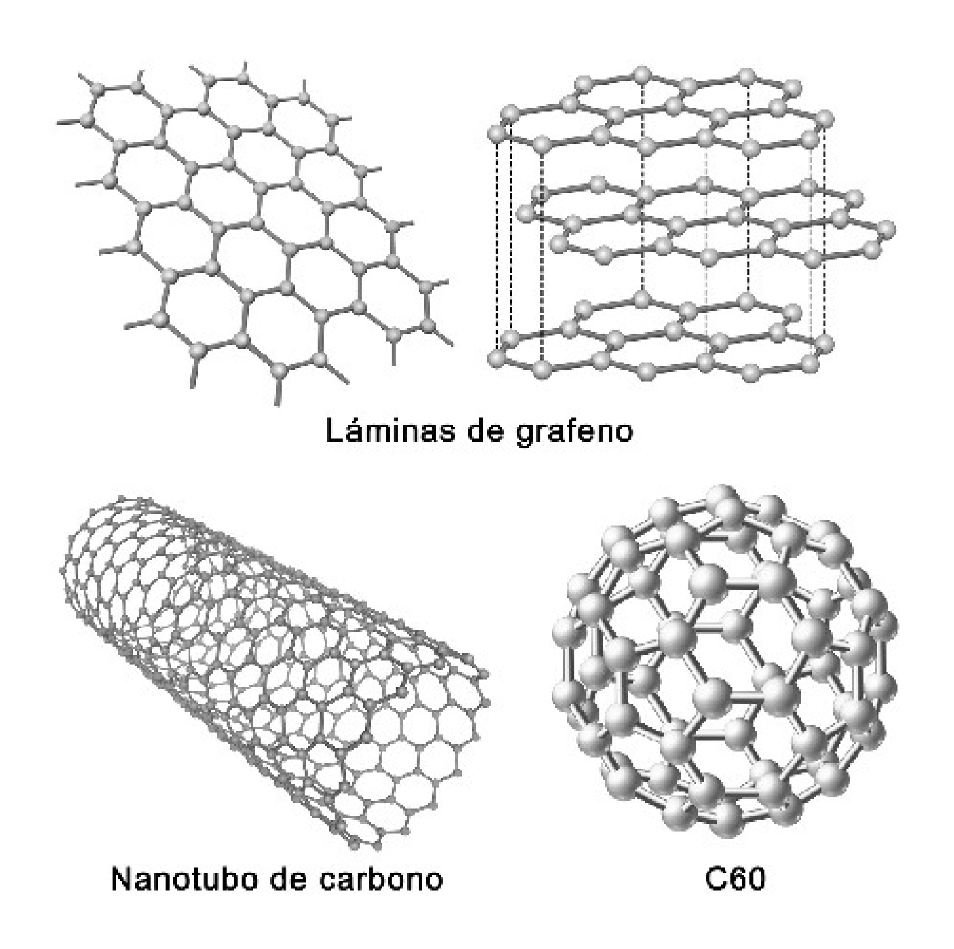
Para Harold Kroto, la nanotecnología consiste en construir un sistema complejo átomo a átomo, molécula a molécula, de lo pequeño

a nuestra escala o, tal y como él indica, de *abajo arriba*. La vida es eso, después de todo: un ensamblaje a múltiples niveles, de lo pequeño y simple a lo grande y complejo, de átomos a moléculas, de moléculas a células, de células a órganos, de órganos a individuos, e incluso de individuos a las comunidades que forman los ecosistemas. En 1996, Kroto ganó el premio Nobel de Química por el descubrimiento de unas moléculas compuestas por átomos de carbono, los *fulerenos*. Tuve la ocasión de charlar con él sobre sus hallazgos y su prometedor potencial.

La química orgánica, la de los seres vivos, se sustenta en el carbono. Éste forma la base y a su alrededor se combinan elementos como el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y otros en menor proporción. Así se da lugar a las moléculas de la vida, que se organizan para formar células y organismos. No obstante, el carbono también está presente en el mundo inorgánico, y forma, por ejemplo, minerales tan dispares como el durísimo diamante o el grafito de nuestros lápices. Ambos son carbono puro, y ese abismo entre propiedades lo da, sencillamente, una diferencia en la estructura molecular: en el primero, los átomos forman estructuras cristalinas, tridimensionales, mientras que en el grafito el carbono se organiza en estructuras hexagonales planas, bidimensionales, conocidas como *grafeno*. Las láminas de grafeno se superponen y se desprenden unas de otras con cierta facilidad. El trazo de un lápiz son millones de láminas de grafeno que se han desprendido.

Existen asimismo cadenas cuyos eslabones son moléculas de átomos de carbono. Son poco estables, pero en los pasados años setenta, a Kroto y a un colega suyo, David Walton, les dio por estudiarlas y averiguar sus propiedades. Se llevaron la primera sorpresa al descubrir que este tipo de cadenas abunda en el espacio y especularon con la posibilidad de que se formaran en el seno de lo que los astrofísicos denominan *estrellas de carbono*. Eso les llamó la atención y se pusieron a tratar de reproducir, en el laboratorio, el proceso de formación de dichas moléculas en las estrellas, a altas presiones y temperaturas. Y se encontraron con la segunda y mayor sorpresa: las moléculas se cerraban en esferas de sesenta átomos de carbono. Formaban estructuras muy similares a las de un balón de fútbol, huecas por dentro y compuestas por hexágonos como los del grafeno. Lo más importante de tal hallazgo es que las moléculas surgen del autoensamblaje de átomos de carbono al darles energía. Por su parecido con la cúpula geodésica que ingenió el arquitecto Buckminster Fuller, Kroto bautizó a estas moléculas con el —incómodo— nombre de *buckminsterfulerenos*. Después se encontraron

esferas de este tipo compuestas por un número distinto de átomos de carbono. Por extensión, a las moléculas que derivan de las láminas de grafeno se las denomina *fulerenos*, y trabajos posteriores dieron con nuevas formas de éstos. Fue el caso del investigador japonés Sumio Iijima, quien descubrió que las láminas de grafeno podían enrollarse formando largos tubos nanoscópicos, cerrados en sus extremos. Hoy los conocemos como *nanotubos de carbono*, que para Harold Kroto son los primos alargados de las esferas que descubrió.



Láminas de grafeno, nanotubo de carbono y C60.

Por su forma, los fulerenos esféricos abren las puertas a aplicaciones de la nanotecnología en campos como la biomedicina —por ejemplo, en el suministro y la dosificación de fármacos o genes a ciertos tejidos o células— o la supercomputación, al tener estas

moléculas el potencial de actuar como trampas de electrones que podrían utilizarse para el almacenamiento de información. Los nanotubos, en cambio, muestran unas propiedades completamente distintas aunque no menos asombrosas. Sus aplicaciones incluyen igualmente la biomedicina y la electrónica, pero también muchas más áreas, como la ciencia de los materiales, la industria textil, la energía, las construcciones o incluso el medio ambiente. Dejad que os cite sólo dos ejemplos de sus propiedades. Uno es su capacidad de conducción eléctrica libre de pérdidas. Si bien en un cable eléctrico de los que utilizamos habitualmente se desaprovecha hasta un 50 por ciento de la electricidad, crear cables con nanotubos de carbono permitiría que los electrones circularan a lo largo de éstos sin sufrir la más mínima disipación. La otra propiedad de los nanotubos que quería destacar es su enorme resistencia a la tracción. De conseguir extender los nanotubos a nuestra necesidad y juntar billones de ellos —recordad que el diámetro de un nanotubo es del orden de un nanómetro, una milmillonésima parte de un metro—, podríamos obtener un material con unas propiedades de fuerza inimaginables. Es por ello que Kroto se mostró enormemente optimista: según él, gracias a esta propiedad tenemos la posibilidad de revolucionar la ingeniería civil. «Si lo lográramos, se podrían erigir puentes tan fuertes que ni siquiera con los terremotos más terribles se vinieran abajo. O aviones tan resistentes y ligeros que incluso con los cuatro motores estropeados pudieran seguir planeando. O podríamos fabricar automóviles que en caso de colisión se mantuvieran intactos.»

La nanotecnología no sólo se restringe al carbono, sino que avanza en muchos frentes. Todavía tiene mucho camino por delante y, como todas las tecnologías, no está libre de impacto, pero ahora tenemos mucho más conocimiento que antaño y podemos controlar mejor los riesgos de las tecnologías. Recuerdo que le pregunté sobre este aspecto a Harold Kroto y me propuso mirar atrás. Si no hubiéramos avanzado en la química del último siglo, por poner el ejemplo de una ciencia concreta, hoy no tendríamos ordenadores, ni penicilina, ni muchísimos fármacos, no dispondríamos de los materiales actuales y no seríamos capaces de fabricar recursos suficientes para cubrir las necesidades de toda la población. «Si ahora frenamos la nanotecnología, entonces nos perderemos muchos avances apasionantes que podrían beneficiar a la humanidad.»

Los avances que plantea la nanotecnología dan para un libro entero, pero me detengo un momento en un ejemplo con el que voy a cerrar este capítulo. Charlé una vez sobre el futuro con el físico español Nicolás García, quien me mostró por vez primera un átomo

captado con un microscopio de efecto túnel. Su sueño es llegar a diseñar un nanorrobot inteligente, con un terabyte de memoria (un billón de bytes) y con capacidad para tomar decisiones. Imaginad que este nanorrobot pudiera vivir con nosotros, dentro de nosotros, y eliminar células cancerosas sin que apenas repararámos en ello. El objetivo de una de las líneas de investigación de Nicolás García es precisamente ése: obtener un nanorrobot que pueda diagnosticar un problema en sus estadios más preliminares. «Si somos capaces de producir un nanomisil e insertarlo en el sistema sanguíneo, éste, que tiene una masa pequeñísima, será capaz de atacar las células que prematuramente estén iniciando una enfermedad.»

Definitivamente, hay muchas realidades más importantes que los políticos, incluidas las más pequeñas, como los virus, la nanotecnología, las partículas fundamentales… Bajo esta idea, recuerdo que cuando le pregunté a Harold Kroto sobre los riesgos de las nuevas tecnologías, tras justificar los posibles impactos añadió que existe algo más peligroso para la humanidad: los políticos y sus decisiones, que conducen a guerras y crisis. Que conste que esta vez no lo dije yo. Fue Kroto.

REFERENCIAS

- Harvey Lodish, Arnold Berk, S Lawrence Zipursky, Paul Matsudaira, David Baltimore, James Darnell, *Molecular Cell Biology*, W. H. Freeman, Nueva York, 2000.
- Dorothy Crawford, *The Invisible Enemy: A Natural History of Viruses*, Oxford University Press, Nueva York, 2002.

10

CUALQUIER TIEMPO PASADO FUE PEOR

A lomos de un burro. Así pasaba casi toda su jornada el facultativo del Priorat más profundo. Durante mi infancia, el periplo de mi padre de un pueblo a otro, de Cabacés a La Figuera, de la Vilella Baixa a la Alta, requería su tiempo. No había asfalto, sólo piedras y polvo, o *machaca*, como lo llamaban sus habitantes. El asfalto pertenecía a las ciudades y a las vías que las conectaban, y en torno al Montsant apenas éramos cuatro gatos desperdigados alrededor del macizo. Para el gobierno de turno tal infraestructura debería suponer un dispendio exagerado. Ni siquiera las telecomunicaciones alcanzaban todas las casas; conectar pueblos era más que suficiente, y si llegaba alguna llamada importante nos enterábamos gracias al correveidile local. El invierno era crudo, la nieve solía dejarnos un par de veces al año aislados del resto del mundo, pero las aplastantes horas de sol de los veranos tarraconenses podían ser aún peor. Ni el asno, con su tozudez característica, quería dar un paso adelante bajo ese sol despiadado.

La clase de los niños, en la escuela local, estaba en el primer piso. Una única aula bastaba para contener a todos los menores de doce años. El único criterio de filtraje era el sexo, pues en el piso superior, el segundo, estaba la clase de las niñas. La edad no era motivo de separación, aunque sí el género; daba igual si aún estabas aprendiendo a leer o si ya sabías resolver problemas de fracciones, lo importante en esa época era separar lo distinto, en ese caso niños de niñas, puesto que al parecer unos y otras no debían aprender lo mismo. Si del piso de arriba nos separaba —además de las escaleras— el sexo, del de abajo la distancia nos la marcaba la actitud. Estábamos a unas cuantas fechorías de la planta baja, la cárcel del pueblo. El edificio entero cumplía las funciones de contención de mocosos y de maleantes, con la pequeña diferencia de que los primeros eran libres a partir de media tarde y los segundos sólo salían cuando el régimen decidía que habían pagado por sus faltas.

Definitivamente, era otra época. Parecía que las urgencias no existieran, o mejor dicho, no pudieran permitirse las prisas de existir. Hoy, en plena era de la inmediatez, los ritmos de entonces serían intolerables. En cualquier caso, el progreso —por decirlo de algún modo y contemplado en el contexto de la época— empezó a calar, sutil pero sostenidamente, y eso era imparable. El progreso más manifiesto era infraestructural, puesto que el intelectual estaba cortapisado por la hermética dictadura de Franco y, si avanzaba, lo hacía a escondidas. En la Vilella Baixa el asfalto fue llegando, los

habitantes empezaron a tener terminal telefónico en casa, empezó a no ser necesario acercarse al casino a ver la televisión. Mi padre cambió el burro por una de las primeras motos. Liberado al fin de su depedencia de la caprichosa personalidad del animal, su trabajo ganó en agilidad y los pacientes se pudieron permitir padecer achaques un poco más urgentes.

Vamos a mejor

Pequeños recuerdos cotidianos como los citados dan una ligera idea de que las cosas han mejorado. Siempre cito al psicólogo social Steven Pinker cuando me refiero al pasado. Pinker ha reunido evidencias flagrantes del descenso de la violencia a lo largo de los siglos, en paralelo al progreso social y al auge de la empatía. Fue él quien me reveló que cualquier tiempo pasado fue peor y no mejor, como reprochan algunos románticos insatisfechos con el mundo actual. Reconozco que cuesta creer que vivimos en la época más segura y pacífica de toda la historia. Los medios nos muestran a diario imágenes de atentados perpetrados por el Estado islámico o de conflictos como el de Siria o de ciertos países africanos. Y, sin embargo, pese al bombardeo mediático, la tasa de homicidios muestra una tendencia a la baja. El porcentaje de muertos en las guerras actuales es mucho menor que en cualquier época pasada. La segunda guerra mundial fue un horror, de eso no hay duda, pero el porcentaje de muertos en la caída del Imperio romano o en la invasión mongola de Gengis Kan, unos cuantos siglos antes, fue muy superior. Según Pinker, el porcentaje de muertos causado por Kan en aquel momento equivale, en la actualidad, a 278 millones de personas, un tercio de la población europea. Así, a lo largo de la historia hemos vivido un proceso de pacificación en el que los conflictos se han ido resolviendo mediante leyes, consensos y vínculos comerciales entre países.

A todo esto hay que añadir lo visto a lo largo de los capítulos anteriores. Nuestra esperanza de vida se dispara gracias a la ciencia, la tecnología y la prosperidad. Estamos en un momento maravilloso en el que varias revoluciones convergen para mejorar aún más nuestra calidad de vida, nuestra longevidad. Empezamos a tener herramientas muy poderosas para resolver los problemas globales que nosotros mismos hemos causado y los descubrimientos que se avecinan aún nos deparan un futuro más esperanzador. Grandes epidemias como la soledad o la depresión empiezan a estar en jaque gracias a la irrupción de las redes sociales digitales en nuestras vidas. Así que ratifico lo vaticinado por Pinker: vamos a mejor, y no a peor.

Me gustaría cerrar esta parte del libro con un cuento sobre un pasado incuestionablemente peor. No me refiero a un pasado lejano como el principio de la humanidad, sino a un pasado muy remoto, el del origen de la vida. Hace un par de años fui invitado a leer un pregón. Fue en la inauguración de la Feria del Cocido de Lalín, una tradición que esa villa gallega viene celebrando desde hace casi medio siglo. ¿Qué demonios podía contar yo en una feria dedicada al cocido que conciliara conocimiento con entretenimiento? Eso me pregunté cuando me lo propusieron, pero enseguida, al asociar el cocido con el caldo, me vino a la cabeza el concepto de lo que el científico ruso Aleksandr Oparin denominó el *caldo primigenio*. Antes de explicarme, permitidme un inciso.

La vida es algo raro. Nosotros, los humanos, lo vemos como algo normal porque somos vida y nos rodeamos de ella. Pero si la contemplamos desde una perspectiva cósmica, en el contexto del universo, la vida es algo raro, muy raro. Es un fenómeno tan extraño que hasta el amigo y astrobiólogo Ken Nealson me soltó eso que repito tantas veces de que la vida es una equivocación, sentencia a la que recurriré más adelante. ¡Cuánta razón tenía! Tras años y años de buscar, los expertos siguen sin dar con indicios claros de que haya vida en algún otro sitio que no sea la Tierra. Incluso en los últimos años, hemos detectado centenares de planetas en otros sistemas solares distintos al nuestro. Cuando leáis estas líneas puede que la cifra de planetas extrasolares descubiertos ya haya excedido los 2.000, pero, pese a ello, muy pocos son los candidatos a albergar vida. Y, de albergarla, nos es muy difícil detectar indicios de que ahí vive algo o alguien, entre otros motivos porque se encuentran a millones de años luz de nosotros. Así, por el momento y hasta que nadie demuestre lo contrario, quienes habitamos la superficie de nuestra nave espacial, la Tierra, somos la salvedad, la excepción del universo.

Esta rareza añade todavía más misterio a lo que originó la vida en la Tierra, se estima que alrededor de unos 3.500 millones de años atrás. Todavía hoy ésta constituye una de las mayores incógnitas de la biología y de la ciencia en general. Aún no sabemos cómo se originó la vida, cuál fue la chispa que hizo que a partir de la materia inerte, mineral, surgieran las primeras moléculas orgánicas que se ensamblarían en el primer ser vivo. No obstante, existen diversas hipótesis sobre el origen de la vida, de entre las cuales la más aceptada actualmente es que se originó nada más ni nada menos que en un caldo. Ésa es la hipótesis del caldo primigenio de Oparin referida más arriba. Los científicos también lo llaman *caldo primordial*

o *caldo de la vida*, y hablo de él para mostraros que el pasado no fue sólo peor. Fue mucho, mucho peor.

La atmósfera de hace 3.500 millones de años era completamente distinta a la que conocemos hoy. Como avancé en el capítulo dedicado a la comunidad andante de bacterias que somos los humanos, en la atmósfera primitiva no había oxígeno, pero abundaban el vapor de agua, el nitrógeno, el dióxido de carbono y otros compuestos, como el dióxido de azufre o el cloruro de hidrógeno, gases ácidos y muy irritantes que se diluyen en el agua y que hoy provocan la lluvia ácida. Esa atmósfera era el fruto de un planeta convulso, todavía en formación, con constantes erupciones volcánicas de las que emanaban todos esos gases, terribles tormentas cargadas de relámpagos y frecuentes impactos de asteroides, cometas y demás objetos celestes. Parece mentira que en un ambiente tan extremo y hostil pudieran surgir los primeros rudimentos de vida de modo espontáneo.

Stanley Miller, profesor de química en la Universidad de California en San Diego, trató de reproducir esas condiciones primitivas para crear, en el laboratorio, compuestos orgánicos a partir de la materia inorgánica. Lo hizo junto a Harold Urey, su director en los años cincuenta, cuando ambos investigaban todavía en la Universidad de Chicago y Miller no era más que un joven estudiante, con un experimento tan sencillo como ingenioso. Encerraron en una especie de alambique cuatro gases abundantes en la atmósfera primitiva (agua, metano, amoníaco e hidrógeno), calentaron el agua para generar vapor y sometieron la mezcla a descargas eléctricas que simulaban los rayos del ambiente pasado. De ahí, de esa reacción, los investigadores obtuvieron moléculas orgánicas como ciertos aminoácidos, algunos de los ladrillos básicos para la vida. El hallazgo dejó estupefacta a la comunidad científica.

Tuve la suerte de poder charlar con Stanley Miller hace una década sobre el gran hito de haber reproducido el primer peldaño hacia la formación de vida desde la materia mineral, no viva. Enseguida reconoció que su experimento era lo fácil, que lo difícil es alcanzar el segundo peldaño, obtener las primeras cadenas de esos aminoácidos. O lo que es igual, lograr que las moléculas orgánicas se agrupen y se organicen para llegar a autorreplicarse. Sin embargo, Miller se mostró muy optimista con la idea de que si ese proceso se ha dado en la Tierra de manera espontánea, tiene que ser posible, tarde o temprano, reproducirlo en el laboratorio. Hasta la fecha, parece que hay detalles que se nos escapan: «Faltan muchas cosas. Pero la parte más difícil consiste en obtener algo que pueda replicarse, reproducirse a sí mismo, porque en cuanto algo es capaz de eso, entonces se inicia

una evolución darwiniana».

Esa capacidad de autorreplicación es, para Miller, lo que diferencia un objeto inerte de un ser vivo, y ése justamente es el salto que nos falta por dar en nuestro proceso de reproducción del origen de la vida. Por ahora, las especulaciones sugieren que las moléculas orgánicas sencillas, formadas espontáneamente en esa atmósfera antepasada, caerían en las aguas del océano de esa época, un océano absolutamente inhóspito en aquel entonces, con agua a una temperatura muy elevada. La mezcla de agua muy caliente y esos compuestos crearían el citado caldo primigenio. Y ahí, dentro de ese caldo, se habrían combinado espontáneamente las moléculas, unas con otras. Se habrían cocido, literalmente. Y fruto del azar y de los millones de años —ya se sabe que un buen caldo requiere tiempo de ebullición—, algunas combinaciones podrían haber dado los primeros frutos. Habrían evolucionado hacia un esbozo de ARN, la versión más primitiva de la molécula de la vida. Y luego, hacia un proyecto de célula que acabaría dando lugar a las bacterias más ancestrales. El resto de la historia ya lo conocéis.

REFERENCIAS:

- Steven Pinker, *The Better Angels of Our Nature: Why Violence Has Declined*, Penguin Books, Londres, 2012.

EPÍLOGO
CARTA A MIS NIETAS

Queridas nietas,

Os he hablado de los antecedentes familiares, de cosas nuestras que no supe hasta muy tarde en mi vida. Después hemos recorrido los aprendizajes de mis dieciocho años con sabios, científicos dedicados al aprendizaje emocional. Y ahora quisiera terminar seleccionando dos de las ideas que me han impactado y conmovido.

La primera idea es que hay que aceptar lisa y llanamente lo que la mayoría de la gente se resiste a ver: *que la vida es una equivocación*. «*Life is a mistake*», dice Ken Nealson, astrobiólogo de la NASA. La segunda idea que no podéis olvidar es esta afirmación de un premio Nobel, Sydney Brenner: «Los que más me han enseñado son los que menos sabían de lo mío».

Se puede cambiar de opinión

La primera vez que Ken Nealson, astrobiólogo de la NASA, me soltó que «la vida es una equivocación» fue entre sonrisas; él se ocupaba de la vida todo el rato y no iba a escribirlo con letras mayúsculas, ni anotando, como haríamos nosotros, un punto y aparte. La vida era una equivocación. Punto.

Si incluso la estructura de la materia cambia, ¿cómo no vais a cambiar vosotras de opinión, admitiendo que os equivocasteis?

Ranulfo Romo, investigador internacional del Howard Hughes Medical Institute, comprobó ya hace un tiempo junto a su equipo de la Universidad Autónoma de México que los cerebros de determinados primates sociales habían desarrollado la capacidad de rumiar decisiones y cambiar de opinión si lo estimaban preciso. En otras palabras, nuestros antecesores los primates ya podían cambiar el voto aunque por motivos ideológicos hubieran tomado la decisión contraria. También el loro de mi vecino, que sólo solía cantar *La Marsellesa*, cambió de melodía cuando Alexia empezó a entonar tonalidades distintas. El loro se lo pensó un rato. Hubo un gran silencio y de repente cantó lo propuesto. Ensayó y volvió a cantar la nueva sintonía. No sólo no es malo cambiar de opinión, sino que nuestros cerebros están fabricados para poder hacerlo.

¿De dónde sale entonces este sentimiento tan extendido de que cambiar de opinión es malo? ¿De que sólo los caracteres volubles y flojos cambian de parecer? La verdad pura demuestra que rumiar sobre lo que acabamos de decidir, hasta el punto de sustituirlo por otra decisión, opuesta o distinta, es propio de cerebros sofisticados y genéticamente avanzados. La tozudez, la imposibilidad de cambiar de opinión, la de aferrarse siempre a lo mismo, son propias de alucinados empedernidos. De organismos que evolutivamente precedieron a los monos con los que trabaja Ranulfo Romo.

La biología nos advierte de que no podemos prestar atención siempre a lo mismo. En la misma medida en que se prolonga el estímulo sensorial —se ha verificado en el laboratorio con monos *rhesus*— disminuye la intensidad de la descarga sensorial. No lo he olvidado, desde que oí por azar al sabio Antonio Damasio intentar convencer a una de sus alumnas preferidas de que no valía la pena empeñarse en un amor truncado. Lo que debes hacer es: «Dejar de ir a los mismos bares de antaño, cambiar de ciudad y de trabajo, olvidarte del primer gran amor». Así se tambalea otro principio básico del comportamiento cotidiano: *el amor no es eterno, y sólo puede sustentarse si se producen readaptaciones neurales*. Ha costado mucho tiempo y esfuerzo asimilar que no podemos estar prestando todo el rato idéntico grado de atención a una información sensorial determinada; tarde o temprano, este proceso va a quebrarse.

La atención del observador que fluye en el cerebro pervive durante un trance limitado del estímulo, pero la triste verdad es que las neuronas suelen prestar una atención máxima durante un período inicial, hasta llegar a arrinconar, e incluso olvidar, el estímulo, aunque siga presente. ¿Cómo no sacar la conclusión de que nuestro cerebro no puede estar mirando, escuchando o sintiendo lo mismo y con la misma intensidad todo el rato? Los neurólogos han identificado incluso los circuitos cerebrales específicos que se activan en los monos cuando aplazan una decisión.

La verdad es que no habría habido ciencia sin esos circuitos cerebrales. Después de creer, como Newton, que la dimensión del tiempo era absoluta, igual para todo el mundo, gracias a estos circuitos Einstein se afirmó en la opinión de que el tiempo era relativo y de que dependía de factores precisos, como la gravedad o la velocidad a la que uno se desplazaba.

El tiempo no es igual para todo el mundo. Es relativo. El cerebro de los monos —y el nuestro, por supuesto— puede seguir ponderando los distintos factores a favor y en contra de algo, a pesar de haber tomado ya una decisión anticipada o precipitadamente. La ventaja del

sistema neural descubierto por Ranulfo Romo radica en que nunca es tarde cuando la dicha llega. Si en lugar de la sopa de calabaza por la que optamos en el menú al sentarnos a la mesa, la cancelamos y regresamos a la idea inicial que habíamos rechazado de una buena fabada, no perdemos, definitivamente, la compensación típica de los circuitos de placer. La vida puede proseguir sin amarguras, a pesar de habernos equivocado. Porque adaptarse y rectificar es de sabios.

Para poder cambiar de opinión hacía falta que los monos primero y nosotros después hubiéramos desarrollado la capacidad para elegir lo que más nos gusta. E indicarlo claramente. Para ello se utilizaron impulsos de diferente intensidad transmitidos a las yemas de los dedos de los monos, que podían elegir —como nosotros elegimos un disco— su preferido sencillamente apretando un botón. Los monos saben elegir. Y nosotros también. Lo lógico, aquello para lo que está hecho el cerebro, es para no equivocarnos y, si nos equivocamos, para cambiar de opinión rápidamente. Saber cambiar de parecer en pocos instantes sin causar estropicios, es decir, habiendo explicado a los demás las razones de nuestro cambio de actitud; después de haber ensayado, aunque sea fugazmente, la cobertura del nuevo planteamiento elegido.

La masía. ¿Por qué añoran tanto mis nietas el recuerdo de las salas interminables y medio vacías? «Abu, ¡si te encuentras mal llama a Carmen! Su teléfono está en el collar de *Darwin*.» Di con esa nota de mi nieta mayor, Candela, por pura casualidad. El *Abu* se refería a mí, por supuesto, que ya no me faltaba tanto para los ochenta años. Carmen era la guardesa; nunca la vi de mal humor a pesar de las calamidades de la vida.

Nadie conoce a ciencia cierta el tiempo. Hasta los cuatro años, Tiziana, mi nieta, no pudo distinguir el presente del pasado o el futuro; todo estaba mezclado en su cerebro, porque todavía no habían tomado forma unas conexiones en el lóbulo frontal, entre los ojos, que son indispensables para empezar a controlar su conducta. Hasta los veinticinco años, el cerebro no cuenta con todos los instrumentos necesarios para dilucidar opciones, decidir caminos, elegir a qué velocidad se va a ir de un sitio a otro, cuál es la emoción preferida. De entrada, hay más posibilidades de que os confundáis ahora que más tarde. Antes de los veinticinco años, la gran mayoría de los jóvenes no saben calcular el impacto o riesgo que corren sobrepasando los límites de la velocidad en su moto.

La noción del tiempo hay que aprenderla; tras muchos esfuerzos nos damos cuenta de que lo único que sabemos de él, a ciencia cierta, son las huellas que deja: el cabello blanco del abuelo indica que por

allí ha pasado el tiempo. Pudo ser un instante, ochenta años, o más de ciento ochenta millones de años, cuando no existían todavía las especies de primates de las que descendemos nosotros y los chimpancés.

Yo descubrí que no había propósito en la evolución después de cumplir los diecisiete años, durante mi primer viaje a Estados Unidos. No lo he olvidado nunca. Ha marcado para siempre mi vida. No recuerdo ni el nombre de la calle, ni cómo era la ciudad que estábamos atravesando en el interminable viaje en autobús que va desde Nueva York a North Hollywood, de punta a punta de Estados Unidos, en el año 1952. Vi una inscripción: «*Is there a life before death*?». Era un grafiti pintado en la pared por un loco de veinte años, cuando ni Dios preguntaba si podía haber vida antes de la muerte. ¡Claro que la había! En la década de los cincuenta, Europa se restañaba todavía las heridas abiertas por las guerras mundiales del siglo XX y anteriores. «*Is there a life before death*?», se preguntaba un curioso y solitario, a contracorriente de todo el mundo.

Ahora bien, lo que más me conmovió, lo que mayor repercusión tuvo en toda mi vida, fue lo que me recordó el premio Nobel de Medicina Sydney Brenner.

¿LOS DEMÁS SABÍAN ALGO DE MÍ?

«Los que más me han enseñado fueron los que menos sabían de lo mío», es la frase de Sydney Brenner.

Tenemos que remontarnos un poco antes de ir a parar al significado de la sentencia. Los *Australopithecus afarensis*, en el este africano, fueron los primeros en escuchar a los demás y oír su música con una precisión parecida a los *Homo heidelbergensis* y *Homo neanderthalensis* después.

Tan importante como el lenguaje para explicar la existencia de otros mundos fue la capacidad de memorizar lo que convenía y poder explicarlo de nuevo. Para ello, hacía falta lo que vino en ese período: la diferencia cognitiva entre los humanos modernos y el resto de los primates, para los que no estaba a su alcance. ¿Qué definió esa diferencia cognitiva de los humanos modernos? Según Daniel Lieberman, pudieron mezclar las diferencias y, a la vez, las similitudes que han marcado las estirpes evolutivas. Por una parte la individualidad y por otra la genética heredada: cada pareja transmite a su descendencia su propia estructura genética.

La vida es un ejercicio demasiado largo y tedioso para que conduzca a cualquier parte o lugar conocido. Hacen falta muchos

años, emplear un tiempo inacabable, para aprender algo. La vida es una equivocación.

En Vilaseca de Solcina ya se sabía entonces que los malos espíritus no eran los responsables de los desmanes mentales. Vilaseca de Solcina era el pueblecito donde se había aposentado mi familia después del Priorat. Ya no se les exorcizaba. Sabíamos que el mal estaba en el propio cerebro. Que la ansiedad, el estrés, la depresión, la esquizofrenia y hasta la epilepsia eran indicios claros de que el cerebro no funcionaba bien. Cuando se supo que el alma estaba en el cerebro se descubrieron las bases de la neurobiología moderna.

Me sentí siempre cercano a los pacientes con la mente desquiciada. De joven me bastaba contemplar el espectáculo, desde el balcón del piso, en la calle Mejía Lequerica, del patio del Hospital Frenopático, para recordar la convivencia con los locos cuando tenía diez años. Alguno que otro lograba encaramarse a la tapia del Frenopático, observar intrigado el flujo de gente a sus pies en la calle y saltar, perdiéndose en el gentío. «¡Miren, miren, otro que se larga!», decía a sus clientes el dependiente de la farmacia en el lado opuesto de la calle. Me fascinaba la inclinación de los locos a escaparse.

En el manicomio —como se llamaba entonces a los frenopáticos— se encargaban de los trastornos mentales y de las personas afectadas por ellos, a las que trataban a base de inyecciones de trementina y camisas de fuerza para inmovilizar a los pacientes excitados en exceso, mientras el resto hacía largas colas para someterse a los *electroshocks*. Eran las últimas terapias que se aplicaban a aquellos cerebros desquiciados. Ésa era la realidad de la neurociencia aplicada a las personas cuando yo era un niño. Sesenta años más tarde, cada vez que he conversado con neurólogos, fisiólogos, psicólogos, médicos y estudiosos del cerebro, he revivido aquellos recuerdos de la infancia. La mayoría de los enfermos no sabían de dónde venían, dónde estaban ni a dónde iban.

Desde entonces, el camino recorrido por la neurociencia no tiene parangón en ninguna otra disciplina. Como dice el fisiólogo y neurólogo Rodolfo Llinás, los moluscos llevan el esqueleto por fuera y la carne por dentro, mientras que nosotros llevamos la carne fuera y el esqueleto dentro, salvo el cerebro, bien a oscuras, recibiendo señales codificadas del mundo exterior, además de instrucciones improbables para sobrevivir.

Hasta hace bien poco, todos rendíamos pleitesía a la capacidad del cerebro para percibir el mundo exterior. La mayor parte de su energía —eso creíamos— la dedicaba a reproducir fielmente lo que estaba ocurriendo fuera de nuestro propio esqueleto. Fascinaba la meticulosidad con que podía reproducir mil detalles del entorno a partir de unas pocas señales codificadas recibidas del exterior en la completa oscuridad imperante del interior del cráneo. «¡Qué maravilla!», decíamos. Hoy sabemos que eso es falso. El cerebro percibe a toro pasado, sólo ve el centro de la imagen y no le interesa tanto percibir la realidad tal cual es como elucubrar prediciendo los márgenes de error de cada apuesta fallida. En esta tarea de predecir sumas, detracciones, multiplicaciones de las recompensas esperadas y divisiones triviales consume el cerebro gran parte de su energía. Día y noche.

Que quede claro, Tiziana, Alexia, Violeta y Candela: *Hay preguntas que no tienen respuesta*. Desde tiempos inmemoriales, sabemos que determinadas cuestiones no tienen respuesta y son, además, impredecibles. Muchos de esos sucesos, como el desarrollo de una pandemia, el clima o el origen de la vida, pertenecen a sistemas que llamamos complejos, porque las relaciones que se establecen entre distintas variables son tan numerosas, que es imposible predecirlas. O, si son predecibles, no sabemos qué hacer con ellas. Como la vida, las heladas o la erosión de la costa, parecen una equivocación; de ahí que no sepamos anticiparlas.

¿Os acordáis de mi nido de trilobites en la biblioteca del comedor? Los progenitores y la descendencia tierna de aquellos gasterópodos fueron sorprendidos por un río de lava de un volcán. Nadie pudo preverlo y murieron todos los miembros de aquella familia apacible. ¿Os acordáis de los bebés trilobites sepultados por el volcán al lado de sus mayores? Quinientos millones de años después sigue ocurriendo lo mismo, con accidentes de tráfico en los que mueren personas queridas sin que podamos anticiparlo. O enfermedades letales que aparecen de repente: ¿os acordáis de vuestro tío Pedro, que murió víctima de una patologia neurodegenerativa, entonces desconocida, una variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob, que le hizo olvidarse de dónde venía, a dónde iba y en qué lugar se encontraba? Nunca supimos la causa; un buen día, después de aparcar su coche en el garaje, me soltó de repente: «Me cuesta mucho orientarme. Muy a menudo, no sé dónde estoy».

Fue el comienzo de su enfermedad. Mis viajes constantes me impidieron ver su final callado.

En la transición política de la dictadura franquista a la

democracia formé parte del primer gobierno democrático, ya lo sabéis. Sin quererlo me encontré, a veces, con personalidades políticas que yo había conocido de muy joven, como a un tipo muy estimado y algo dogmático al que llamábamos El Guti. Había sido secretario general del Partit Socialista Unificat de Catalunya. Él no había vivido como yo en el resto del mundo durante muchos años, ni había podido descubrir que las adscripciones ideológicas no son lo más importante en la vida. El Guti nunca me perdonó que, habiendo militado los dos en el comunismo —él en Catalunya y yo, como se dice ahora, en el resto del mundo—, durante la transición optara por un político como Adolfo Suárez, que enarboló la transición democrática, a pesar de proceder de las filas franquistas. «Eduardo sabe muy bien de dónde viene y a dónde va, pero no sabe dónde está», me reprochaba a menudo, y con razón, por lo menos desde su punto de vista, en los debates públicos.

Lo que no sabía El Guti, puesto que nunca se lo dije, es que al oírle me acordaba de la frase de mi hermano Pedro a la salida del garaje: «Me cuesta mucho orientarme. Muy a menudo, no sé dónde estoy». Hace quinientos millones de años, igual que ahora, ya había preguntas que no tenían respuesta.

Lo que hemos conseguido durante los últimos cien mil años no se lo debemos a los genes sino al cerebro; utilizamos el canal de la cultura para que el conocimiento llegue a los demás, el contacto con los amigos, la voluntad de cambiar el mundo. Olvidémonos de cambiar el genoma; es mejor cambiar el mundo. Con la multidisciplinariedad, es decir, todo aquello que nos aportan los que menos saben de lo nuestro, vamos a olvidarnos de nuestro origen genético común. De ahí que Sydney Brenner, experto en redes sociales, insista tanto en la necesidad de enseñar, de copiar a otras personas, de completar nuestro frágil y farragoso entramado genético aceptando de entrada la ignorancia de los demás. Ésa es la única manera de ir descubriendo cosas nuevas.

También es suya la frase: «Lo bueno que tiene ser joven es que eres un *outsider* que no sabe la mayor parte de las cosas». Así que vosotras, Candela, Violeta, Alexia y Tiziana, poseéis la mejor cualidad de todas: la curiosidad. Estoy seguro de que la aprovecharéis.

AGRADECIMIENTOS

Octavi, en la *red del conocimento*: recurrí a ti sabiendo que estarías siempre. ¿Alguien sabe el valor de esto?

Magda: tú me *eternizaste for ever*. Lo que es la vida, amaneceres y ocasos. Llegar a tiempo, aunque parecía imposible.

Esther: tu pueblo y el mío son idénticos. Estabas en el comienzo y final de todo, y siempre cuadraba. No sé lo que habría hecho sin ti.

Carta a mis nietas
Eduardo Punset

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.
Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

© Eduardo Punset, 2015

© de la fotografía de cubierta, Departamento de Arte y Diseño, Área Editorial Grupo Planeta.

© de las fotografías del interior: Rolf Richardson / Alamy / ACI; EFE; Rick Friedman / Rick Friedman / Corbis; Smart Planet.

© de las infografías del interior: Carles Salom, basadas en una idea original de Wikipedia.

© Editorial Planeta, S. A. (2015)
Ediciones Destino es un sello de Editorial Planeta, S.A.
Diagonal, 662-664. 08034 Barcelona
www.edestino.es
www.planetadelibros.com

Primera edición en libro electrónico (epub): noviembre de 2015

ISBN: 978-84-233-5008-7 (epub)

Conversión a libro electrónico: Newcomlab, S. L. L.
www.newcomlab.com